

**UNIVERSIDAD NACIONAL
TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS**



FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL**

**ESTUDIO DE UN ASFALTO CON ADICIÓN DE CAUCHO
DE NEUMÁTICO RECICLADO COMO POLÍMERO
BASE, CHACHAPOYAS – AMAZONAS – 2017**

Autor: Br. Fredy Goicochea Fernandez.

Asesor: Ing. Manuel Eduardo Aguilar Rojas.

CHACHAPOYAS – PERÚ

2019

**UNIVERSIDAD NACIONAL
TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS**



FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL**

**ESTUDIO DE UN ASFALTO CON ADICIÓN DE CAUCHO
DE NEUMÁTICO RECICLADO COMO POLÍMERO
BASE, CHACHAPOYAS – AMAZONAS – 2017**

Autor: Br. Fredy Goicochea Fernandez.

Asesor: Ing. Manuel Eduardo Aguilar Rojas.

CHACHAPOYAS – PERÚ

2019

DEDICATORIA

Este trabajo de investigación se lo dedico de manera especial a mi madre Agustina Fernández Vázquez por el esfuerzo y sacrificio realizado para culminar mi carrera profesional y haberme brindado constantes lecciones en el camino de la vida, tanto profesional como personal.

AGRADECIMIENTO

Le agradezco a Dios, ya que está conmigo en cada paso que doy; cuidándome y dándome fortaleza en mis momentos de debilidad y porque todas las cosas proceden de él, existen por él y para él.

Le doy gracias a mi madre Agustina Fernández, por brindarme la oportunidad de tener una excelente educación, por apoyarme en todo momento, y por sus lecciones constantes para ser una mejor persona cada día, y sobre todo por ser mi ejemplo de vida a seguir.

A mi papá Camilo Goycochea, por formar parte de mi formación profesional.

A mi hermana Lelis Goicochea y mi sobrino Johan Cava, por ser parte importante de mi vida, ya que la llenan de alegrías y mucho amor.

A Mariela Arce, por haberme apoyado en todo momento y sobre todo por su paciencia y amor brindado.

Al Ingeniero Manuel Aguilar, por haberme asesorado en el desarrollo de esta investigación.

Gracias Ingeniera Martha Torres e Ingeniero David Canelas, por apoyarme en la realización de este trabajo y haberme brindado la oportunidad de desarrollarlo en el laboratorio de asfalto del área técnica, imagen y sostenibilidad de la empresa Mota Engil Perú S.A; a quien le estoy eternamente agradecido por todas las facilidades brindadas para la correcta culminación del trabajo de investigación realizado.

Gracias a todos mis amigos y familiares por ser parte de mi vida y el apoyo brindado en cada etapa de mi formación profesional.

AUTORIDADES UNIVERSITARIAS

**UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE
AMAZONAS**

Dr. POLICARPIO CHAUCA VALQUI

RECTOR

Dr. MIGUEL ÁNGEL BARRENA GURBILLÓN

VICERRECTOR ACADÉMICO

Dra. FLOR TERESA GARCÍA HUAMÁN

VICERRECTORA DE INVESTIGACIÓN

M.Sc. EDWIN ADOLFO DÍAZ ORTIZ

DECANO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

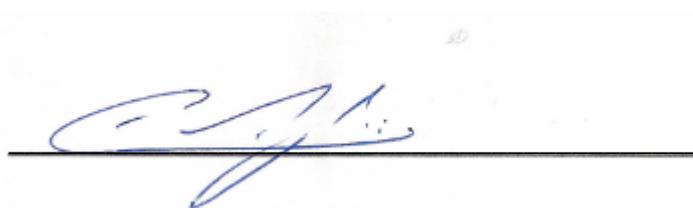
VISTO BUENO DEL ASESOR

El Ing. Manuel Eduardo Aguilar Rojas, docente de la escuela profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas deja constancia que ha asesorado el proyecto de investigación y la realización de la tesis titulada: “ESTUDIO DE UN ASFALTO CON ADICIÓN DE CAUCHO DE NEUMÁTICO RECICLADO COMO POLÍMERO BASE, CHACHAPOYAS – AMAZONAS - 2017”

Asimismo, da visto bueno a la tesis presentada por el Br. Fredy Goicochea Fernandez, egresado de la escuela profesional de Ingeniería civil de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas.

Se le expide la presente, a solicitud del interesado para los fines que estime conveniente.

Chachapoyas, 17 de enero de 2019



Ing. Manuel Eduardo Aguilar Rojas

ASESOR

JURADO EVALUADOR



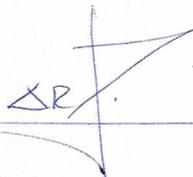
Lic. JOSÉ LUIS QUISPE OSORIO

PRESIDENTE



Ing. JORGE CHÁVEZ GUIVIN

SECRETARIO



Arq. GUILLERMO ARTURO DÍAZ JÁUREGUI

VOCAL

DECLARACIÓN JURADA DE NO PLAGIO

Yo, FREDY GOICOCHEA FERNANDEZ, identificado con DNI N° 74172934, estudiante de la Escuela Profesional de INGENIERÍA CIVIL de la Facultad de INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas.

Declaro bajo juramento que:

1. Soy autor de la tesis titulada:
“ESTUDIO DE UN ASFALTO CON ADICIÓN DE CAUCHO DE NEUMÁTICO RECICLADO COMO POLÍMERO BASE, CHACHAPOYAS – AMAZONAS - 2017” La misma que presento para optar: EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL.
2. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias de citas y referencias para las fuentes consultadas.
3. La tesis presentada no atenta contra derechos de terceros.
4. La tesis no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
5. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falsificados, ni duplicados, ni copiados.

Por lo expuesto, mediante la presente asumo toda responsabilidad que pudiera derivarse por la autoría, originalidad y veracidad del contenido de la tesis, así como por los derechos sobre la obra y/o invención presentada. De identificarse fraude, piratería, plagio, falsificación o que el trabajo de investigación haya sido publicado anteriormente; asumo las consecuencias, sanciones civiles y penales que de mi acción se deriven.

Chachapoyas, 17 de enero de 2019



Fredy Goicochea Fernandez

DNI N° 74172934



ANEXO 3-N

**ACTA DE EVALUACIÓN DE SUSTENTACIÓN DE TESIS
PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL**

En la ciudad de Chachapoyas, el día 17 de ENERO del año 2019, siendo las 12:35 horas, el aspirante BR. GOICOCHEA FERNANDEZ FREDY defiende en sesión pública la Tesis titulada: " ESTUDIO DE UN ASFALTO CON ADICIÓN DE CAUCHO DE NEUMÁTICO RECICLADO COMO POLÍMERO BASE CHACHAPOYAS - AMAZONAS - 2017 "

para obtener el Título Profesional de INGENIERO CIVIL a ser otorgado por la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, ante el Jurado Evaluador, constituido por:

Presidente : LIC. JOSÉ LUIS QUISPE OSORIO

Secretario : ING. JORGE CHÁVEZ GUININ

Vocal : ARG. GUILLERMO ARTURO DÍAZ JAUREGUI

Procedió el aspirante a hacer la exposición de la Introducción, Material y método, Resultados, Discusión y Conclusiones, haciendo especial mención de sus aportaciones originales. Terminada la defensa de la Tesis presentada, los miembros del Jurado Evaluador pasaron a exponer su opinión sobre la misma, formulando cuantas cuestiones y objeciones consideraron oportunas, las cuales fueron contestadas por el aspirante.

Tras la intervención de los miembros del Jurado Evaluador y las oportunas respuestas del aspirante, el Presidente abre un turno de intervenciones para los presentes en el acto, a fin de que formulen las cuestiones u objeciones que consideren pertinentes.

Seguidamente, a puerta cerrada, el Jurado Evaluador determinó la calificación global concedida la Tesis para obtener el Título Profesional, en términos de:

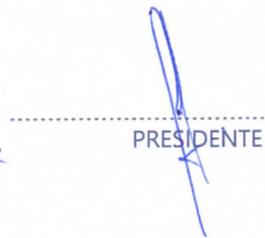
Aprobado () Desaprobado ()

Otorgada la calificación, el Secretario del Jurado Evaluador lee la presente Acta en sesión pública. A continuación se levanta la sesión.

Siendo las 1:30 pm horas del mismo día y fecha, el Jurado Evaluador concluye el acto de sustentación de la Tesis para obtener el Título Profesional.


SECRETARIO


VOCAL


PRESIDENTE

OBSERVACIONES:



ÍNDICE

AGRADECIMIENTO	ii
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	x
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MATERIAL Y MÉTODOS.....	3
2.1 OBJETO DE ESTUDIO	3
2.2 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	3
2.3 UNIVERSO MUESTRAL	4
2.4 MÉTODOS.....	5
2.5 TÉCNICAS.....	6
2.6 INSTRUMENTOS	6
2.7 PROCEDIMIENTO	7
2.7.1 Fase preliminar	7
2.7.2 Fase experimental	9
2.7.3 Fase de gabinete.....	15
III. RESULTADOS	16
3.1 CARACTERIZACIÓN DEL GRANULO DE CAUCHO.....	16

3.2 CONSISTENCIA DE LAS MUESTRAS ASFÁLTICAS PRODUCIDAS.....	18
3.3 TENDENCIA A FLUIR DE LAS MUESTRAS ASFÁLTICAS PRODUCIDAS.....	25
3.4 SUSCEPTIBILIDAD TÉRMICA DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS PRODUCIDAS	32
3.5 CLASIFICACIÓN DE LAS MEZCLAS PRODUCIDAS.....	39
3.6 COMPARACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA.....	40
IV. DISCUSIÓN	41
V. CONCLUSIONES	44
VI. RECOMENDACIONES.....	45
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46
ANEXOS.....	48

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: Número de especímenes a utilizar en la investigación.	4
Tabla N° 2: Diseño del experimento	9
Tabla N° 3: Especímenes de prueba fabricados a 160 °C	11
Tabla N° 4: Especímenes de prueba fabricados a 180 °C	11
Tabla N° 5: Especímenes de prueba fabricados a 200 °C	12
Tabla N° 6: Granulometría del caucho obtenido de los neumáticos reciclados	16
Tabla N° 7: Composición de la muestra de caucho.....	16
Tabla N° 8: Clasificación de las muestras producidas con adición de caucho de neumáticos reciclados.	39
Tabla N° 9: Costos de producción de una mezcla asfáltica en caliente, utilizando asfalto PEN 60/70 y asfalto con adición de caucho de neumáticos reciclados.	40

ÍNDICE DE FIGURAS

Gráfico N° 1: Diseño de la investigación	3
Gráfico N° 2: Curva granulométrica del caucho obtenido de los neumáticos reciclados	17
Gráfico N° 3: Penetración de las muestras producidas a 160 °C respecto a la muestra control	18
Gráfico N° 4: Penetración de las muestras producidas a 180 °C respecto a la muestra control	19
Gráfico N° 5: Penetración de las muestras producidas a 200 °C respecto a la muestra control	20
Gráfico N° 6: Penetración de las muestras con adición de 10 % de caucho.	21
Gráfico N° 7: Penetración de las muestras con adición de 15 % de caucho.	22
Gráfico N° 8: Penetración de las muestras con adición de 20 % de caucho.....	23
Gráfico N° 9: Resumen de la penetración de todas las muestras producidas respecto a la muestra control (Testigo).....	24
Gráfico N° 10: Punto de ablandamiento de las muestras producidas a 160 °C respecto a la muestra control.....	25
Gráfico N° 11: Punto de ablandamiento de las muestras producidas a 180 °C respecto a la muestra control.....	26
Gráfico N° 12: Punto de ablandamiento de muestras producidas a 200 °C respecto a la muestra control.	27
Gráfico N° 13: Punto de ablandamiento de las muestras con adición de 10 % de caucho.	28

Gráfico N° 14: Punto de ablandamiento de las muestras con adición de 15 % de caucho.	29
Gráfico N° 15: Punto de ablandamiento de las muestras con adición de 20 % de caucho.	30
Gráfico N° 16: Resumen del punto de ablandamiento de todas las muestras producidas, respecto a la muestra control (Testigo).....	31
Gráfico N° 17: Índice de penetración de las muestras producidas a 160 °C respecto a la muestra control.	32
Gráfico N° 18: Índice de penetración de las muestras producidas a 180 °C respecto a la muestra control.	33
Gráfico N° 19: Índice de penetración de las muestras producidas a 200 °C respecto a la muestra control.	34
Gráfico N° 20: Índice de penetración de las muestras con adición de 10 % de caucho.	35
Gráfico N° 21: Índice de penetración de las muestras con adición de 15 % de caucho.	36
Gráfico N° 22: Índice de penetración de las muestras con adición de 20 % de caucho.	37
Gráfico N° 23: Resumen del índice de penetración de todas las muestras producidas, respecto a la muestra control (testigo).	38

RESUMEN

La presente investigación se realizó en la ciudad de Chachapoyas, donde se estudió el efecto que produce la adición de caucho de neumático reciclado en el asfalto PEN 60/70, teniendo como hipótesis planteada; la adición de caucho de neumáticos reciclados al asfalto PEN 60/70, mejora sus propiedades físico – mecánicas del mismo, e influye en la reducción del costo de producción de una mezcla asfáltica en caliente. Para demostrar ello se tuvo como muestra control al asfalto PEN 60/70 y muestras experimentales fabricadas con adición de 10%, 15%, 20% de caucho y 2% de azufre (catalizador), fabricadas a 160 °C, 180 °C y 200 °C, cada una de ellas, llegando a producir nueve mezclas asfálticas en total, a cada muestra fabricada se aplicó ensayos de penetración, punto de ablandamiento (anillo y bola) así como el cálculo del índice de penetración; con los resultados obtenidos de los ensayos, se pudo apreciar que la adición de caucho de neumáticos reciclados aumenta la resistencia a deformaciones, disminuye su susceptibilidad térmica e incrementa la rigidez del asfalto manteniendo su elasticidad. Se identificó que siete de las nueve muestras fabricadas cumplen con las especificaciones técnicas para asfaltos modificados con caucho, estipuladas por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, con las cuales se realizó una comparación técnico-económica, obteniendo como resultado que las muestras asfálticas fabricadas disminuyen su costo de producción respecto a una mezcla asfáltica convencional en caliente.

Palabras clave: *pavimento flexible, asfalto modificado, caucho de neumáticos reciclados.*

ABSTRACT

The present investigation was carried out in the city of Chachapoyas, where the effect produced by the addition of recycled tire rubber in the PEN 60/70 asphalt was studied, having as hypothesis put forward; the addition of rubber from recycled tires to PEN 60/70 asphalt, improves its physical and mechanical properties, and influences the reduction of the production cost of a hot asphalt mix. To demonstrate this, the control sample was PEN 60/70 asphalt and experimental samples manufactured with the addition of 10%, 15%, 20% rubber and 2% sulfur (catalyst), manufactured at 160 ° C, 180 ° C and 200 ° C, each one of them, reaching to produce nine asphalt mixtures in total, each test sample was applied penetration tests, softening point (ring and ball) as well as the calculation of the penetration index; With the results obtained from the tests, it was observed that the addition of rubber from recycled tires increases the resistance to deformations, decreases its thermal susceptibility and increases the rigidity of the asphalt maintaining its elasticity. It was identified that seven of the nine samples manufactured meet the technical specifications for rubber modified asphalts, stipulated by the Ministry of Transportation and Communications, with which a technical-economic comparison was made, obtaining as a result that the asphalt samples manufactured decrease their production cost compared to a conventional hot asphalt mixture.

Keywords: *flexible pavement, modified asphalt, recycled tire rubber*

I. INTRODUCCIÓN

Las carreteras son muy importantes para la infraestructura vial de un país ya que ayudan al desarrollo económico, social y cultural del mismo. La red nacional en nuestro país tiene una longitud de 78,200 km aproximadamente de los cuales 68,720 km (87%) son caminos no pavimentados (Pereda & Cubas, 2015).

En la actualidad en nuestro país el desarrollo de vías asfaltadas implica la utilización de aditivos, hechos a base de polímeros, para mejorar el comportamiento y durabilidad del asfalto y en consecuencia de las vías pavimentadas.

Los modificadores a base de polímeros mejoran la resistencia al agrietamiento térmico, proporcionan resistencia a deformación, mejora la resistencia al daño por humedad, disminuye la susceptibilidad a la temperatura de los asfaltos y aumenta la resistencia a la tracción del asfalto. El polímero debe formar una red continua dentro del asfalto. Por esta razón, el polímero y el asfalto necesitan ser compatibles, pero la influencia de los polímeros depende de propiedades físicas, Propiedades químicas, cantidad y tipo de polímero (El Rahman, EL-Shafie & El Kholy, 2012).

Gracias a investigaciones realizadas en varios países del mundo entre ellos Brasil (América Latina) y Estados Unidos (América del Norte), la incorporación de residuos de caucho (llanta) al asfalto ha sido reglamentado por la norma ASTM (American Society for Testing and Materials), aprobándose como un modificador del asfalto (Pereda & Cubas, 2015).

En los últimos años, la generación y acumulamiento de residuos sólidos; ha ido aumentando debido al prolongado periodo de degradación de la mayoría de estos, por ello son considerados altamente contaminantes; tal es el caso de los neumáticos, que después de cumplir su periodo de vida útil son desechados en ríos, quebradas, e incluso incinerados; sumado esto al desinterés de la sociedad por el cuidado del medio ambiente, acrecientan los problemas medioambientales; siendo el problema principal el cambio climático, afectando así tanto al hombre como a su entorno.

El departamento de Amazonas abarca un territorio con una gran biodiversidad, que se ve afectado principalmente por las grandes cantidades de neumáticos desechados, debido a la gran cantidad de vehículos en circulación y al mal estado en las que se encuentran las vías terrestres de nuestra región, ya que la mayoría de ellas son vías no pavimentadas, lo cual contribuye con el acelerado desgaste de los neumáticos, reduciendo considerablemente su periodo de vida útil. Esto hizo posible realizar esta investigación, implementando en las sociedades sistemas amigables con el medioambiente, e incentivando el reciclaje de caucho de neumáticos en desuso, para mejorar las propiedades físico-mecánicas del asfalto PEN 60/70, y por ende ser utilizado en la pavimentación de nuestra región, contribuyendo con el mejoramiento de las vías terrestres e incentivando al desarrollo sostenible del país.

II. MATERIAL Y MÉTODOS

La investigación se realizó en la ciudad de Chachapoyas, recolectando los neumáticos en la ciudad y sus alrededores. Lo concerniente a la fabricación de muestras y aplicación de ensayos de laboratorio se realizó en la ciudad de Lima, en el laboratorio de asfalto; Área Técnica, Imagen y Sostenibilidad de la empresa Mota Engil Perú S.A, ya que en la ciudad de Chachapoyas no existen laboratorios especializados en asfalto; necesarios para el desarrollo de esta investigación.

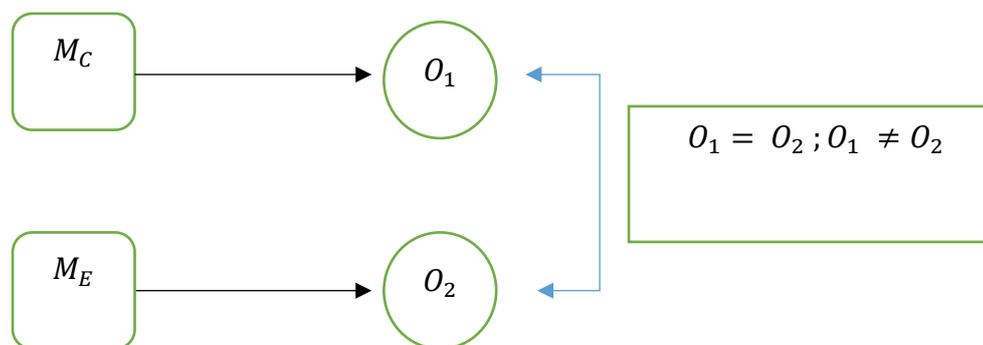
2.1 Objeto de estudio

Efecto de la adición de caucho de neumáticos reciclados al asfalto PEN 60/70, en proporciones de 10 %, 15 % y 20 %, fabricadas a 160 °C, 180 °C y 200 °C cada una de ellas.

2.2 Diseño de investigación

La investigación se realizó según un diseño experimental; teniendo un grupo control y/o testigo (asfalto PEN 60/70) y un grupo experimental (asfalto PEN 60/70 con adición de caucho de neumáticos reciclados), describiendo los indicadores de la variable independiente que influyen o no en la variable dependiente; tal como indica Montgomery (2004), que el experimento es una prueba o ensayo, en la que es posible manipular deliberadamente una o más variables independientes, para observar los cambios en la variable dependiente en una situación o contexto estrictamente controlado por el investigador.

Gráfico N° 1: Diseño de la investigación



Fuente: Elaboración propia

Donde:

M_C : Muestra control (Asfalto PEN 60/70).

M_E : Muestra experimental (Asfalto PEN 60/70 con adición de caucho de neumático reciclado en diferentes proporciones).

O_1 : Resultados de la muestra control

O_2 : Resultados de la muestra experimental

$O_1 = O_2 ; O_1 \neq O_2$:Efecto o no de la manipulación de las variables

2.3 Universo muestral

Representó el número de especímenes de prueba (muestras) fabricados, para la ejecución de los ensayos establecidos; los mismos que se muestran en la siguiente tabla:

Tabla N° 1: Número de especímenes a utilizar en la investigación.

Nombre del ensayo	Número de muestras	Norma de Referencia
Penetración	9	ASTM D5/D5M (2013)
Punto de ablandamiento	9	ASTM D36 (2014)
Índice de penetración	9	INV E 724 (2013)

Fuente: Elaboración propia

2.4 Métodos

En la presente investigación se ha utilizado el método experimental, ya que Torres (2007), indica que el método experimental puede aplicarse en campo o laboratorio, en ambos casos se utilizan dos grupos: el experimental y el de control con propiedades iguales o similares y actuando en las mismas condiciones. En tanto Santiago (2014), menciona que este método es un tipo de método de investigación en el que el investigador controla deliberadamente las variables para delimitar relaciones entre ellas, está basado en la metodología científica. En este método se recopilan datos para comparar las mediciones de comportamiento de un grupo control, con las mediciones de un grupo experimental.

En la investigación se utilizó estas referencias en cuanto se diseñó dos muestras, una de control (Asfalto PEN 60/70) y la muestra experimental (asfalto modificado con caucho de neumáticos reciclados), controlando la variable independiente (caucho), utilizando 10 %, 15 % y 20 % con respecto a las proporciones de la mezcla a temperaturas de mezclado de 160 °C, 180 °C y 200 °C, con una misma proporción de azufre (2 %) en todas las mezclas.

Para la fabricación de los especímenes de prueba y/o muestras experimentales se utilizó el método de mezcla, asfalto – caucho en caliente, ya que las muestras fueron producidas a altas temperaturas.

En cuanto al análisis de los resultados obtenidos, de los ensayos realizados a las muestras, se utilizó el método analítico, interpretando el efecto de la adición del caucho de neumáticos reciclados al asfalto PEN 60/70.

El Método Analítico es aquel método de investigación que consiste en la desmembración de un todo, descomponiéndolo en sus partes o elementos para observar las causas, la naturaleza y los efectos. El análisis es la observación y examen de un hecho en particular. Es necesario conocer la naturaleza del fenómeno y objeto que se estudia para comprender su esencia (Ruiz, 2007).

Para la consecución de la investigación, se adoptó los lineamientos y metodología de la tesis *“Investigación de los asfaltos modificados con el uso de caucho reciclado de llantas y su comparación técnico-económico con los asfaltos convencionales”*

realizada por Pereda & Cubas (2015), y de la tesis “*Pavimentos con polímeros reciclados*” realizada por Ramírez (2011).

2.5 Técnicas

Son un conjunto de reglas y operaciones que facilitan el uso de los instrumentos que auxilian al investigador en la aplicación de los métodos; aportan instrumentos y medios para la recolección, concentración y conservación de datos proporcionando a la ciencia el instrumental experimental (Torres, 2007).

Esta investigación se realizó a través de:

- La observación directa
- El análisis documental.

2.6 Instrumentos

a) Ficha técnica: Es una hoja de registro y cálculo de datos, que permite mantener un proceso uniforme, ordenado y metódico de examinación y registro de información de manera concisa, con la que cuenta cada uno de los ensayos realizados, según criterios de las normas estipuladas por el MTC y ASTM con aspectos claros, concisos, y correctos; de tal forma que permitió evaluar con rapidez los indicadores del estudio.

- ✓ Ficha técnica del ensayo de análisis granulométrico de agregado fino y grueso ASTM C136/C136M-14
- ✓ Ficha técnica del ensayo penetración de materiales bituminosos ASTM D5/D5M-13
- ✓ Ficha técnica del ensayo de punto de ablandamiento usando anillo y bola ASTM D36

b) Ficha Bibliográfica: La ficha bibliográfica es una ficha pequeña, destinada a anotar exclusivamente los datos de un libro o artículo. Estas fichas se hicieron, para todos los libros y/o artículos de interés, que fueron útiles en la investigación.

2.7 Procedimiento

El desarrollo de la investigación se realizó en tres fases o etapas: fase preliminar, fase de laboratorio o experimental y fase de gabinete. La fase preliminar consistió en la obtención del caucho de los neumáticos reciclados, en tanto la fase de laboratorio consistió en la aplicación de los ensayos de laboratorio respectivos, realizado a las muestras experimentales y la fase de gabinete consistió en realizar el procesamiento, análisis e interpretación de los resultados obtenidos, plasmados en esta investigación.

2.7.1 Fase preliminar

El proceso de reciclaje de los neumáticos fue completamente mecánico o ambiental, de donde se obtuvo el grano de caucho reciclado (GCR), abarcando los siguientes pasos:

- ✓ Recolección y selección de neumáticos:

La recolección de los neumáticos se realizó en la ciudad de Chachapoyas y sus alrededores; para recolectar los neumáticos se tuvo en cuenta tan solo neumáticos procedentes de vehículos livianos, por su facilidad de traslado y poco contenido de acero en su estructura.

- ✓ Lavado y desinfección:

Una vez recolectado los neumáticos necesarios, se realizó el lavado de cada neumático de manera técnica, utilizando la cantidad de agua necesaria, con el fin de dejar libre de contaminantes; para ello se utilizó tan solo agua y escobilla, no se utilizó ningún tipo de detergente ya que este puede modificar y/o alterar alguna de las propiedades químicas de los neumáticos, afectando así el desarrollo correcto de la investigación realizada. Posterior a ello se dejó secar al aire libre verificando que no posean ninguna partícula extraña.

✓ Preparación de los neumáticos para la trituración:

Por motivo de facilitar el traslado de los neumáticos a la ciudad de Lima para ser triturados, se hizo cortes transversales a cada neumático, dividiéndolos en partes iguales.

✓ Trituración, granulado y desmetalizado:

Los fragmentos de neumáticos obtenidos, se depositaron dentro de la máquina trituradora o triturador primario, que cuenta con un sistema de cuchillos diseñados para realizar cortes; los que se encargaron de reducir los fragmentos de neumático en fragmentos más pequeños; estos fragmentos pasan por medio de bandas transportadoras hacia al granulador o triturador secundario, el cual se encargó de reducir los fragmentos en gránulos de neumático, los cuales pasaron por un separador magnético, el cual cuenta con dos bandas transportadoras, una de ellas se encargó de conducir el metal hacia un punto de recolección y la otra banda condujo el granulo de caucho reciclado hacia otro punto de recolección.

✓ Tamizado del caucho:

El tamizado del caucho obtenido de la trituración mecánica, se efectuó en el laboratorio de suelos de la empresa Mota Engil Perú S.A, mediante el ensayo de análisis granulométrico de agregado fino y grueso, según la norma ASTM C 136/C 136 M – 14, ya que para el análisis granulométrico de caucho no hay aún normativa alguna para dicho ensayo.

Procedimiento del ensayo: análisis granulométrico de caucho

1. Después de tener la muestra de caucho triturado se pesó la muestra total obtenida y se dejó secar al aire libre durante 24 horas.
2. Una vez secada la muestra se procedió a registrar el peso de la muestra secada al aire libre.
3. La muestra de caucho se colocó en el tamiz N°4 (4.75 mm), teniendo en cuenta que el fondo se encuentre ensamblado a una charola, se tapó el tamiz y se sacudió manualmente por espacio de 3 minutos.

4. Debido a que la muestra paso en un 100 % el tamiz N° 4, se procedió a superponer los tamices N° 8, N° 10, N° 16, N° 20, N° 30, N° 40, N° 50, N° 60, N° 80, N° 100, N° 140 y N° 200 de mayor a menor diámetro de abertura, consecutivamente.
5. Una vez superpuestos los tamices y colocado el fondo, se vertió la muestra en la malla N° 8 y se colocó el juego de tamices en el vibrador mecánico por espacio de 10 minutos.
6. Realizada la vibración se colocó las porciones retenidas en cada tamiz en charolas y se pesó individualmente dichas cantidades. Al retirar cada porción del tamiz que le corresponde, se debe tener el cuidado de dejar limpias las mallas, para esto se utilizó un cepillo y una brocha pequeña.
7. Se registró todos los datos en la ficha de resultados.

2.7.2 Fase experimental

a) Diseño del experimento:

Tomando como base reportes de investigaciones anteriores relacionadas al tema de investigación, se realizó el diseño del experimento que se muestra a continuación:

Tabla N° 2: Diseño del experimento

Muestra experimental											
Asfalto	Modificador	Concentraciones con respecto a la masa total de la mezcla, (%)									
60-70 PEN	Caucho de neumático reciclado y triturado (0.60 mm- 0.85) (%)	10			15			20			
	Azúfre - Catalizador (%)	2			2			2			
	Temperaturas de producción de la mezcla, (°C)										
			160	180	200	160	180	200	160	180	200
	Ensayos										
		Penetración	Punto de ablandamiento	Índice de penetración	Penetración	Punto de ablandamiento	Índice de penetración	Penetración	Punto de ablandamiento	Índice de penetración	
Muestra control											
60-70 PEN (100%)	Caucho de neumático reciclado y triturado (%)	0									
	Azúfre (%)	0									
	Ensayos										
		Penetración			Punto de ablandamiento			Índice de penetración			

Fuente: Elaboración propia

Los valores de las proporciones de caucho se tomaron en referencia de la norma ASTM D 6114 – 97 (2009), donde indica que utilizando el 15 % de caucho en peso volumétrico de la mezcla total, suele ser necesario para proporcionar propiedades aceptables de caucho asfáltico. El valor de 15 % se tomó como el valor intermedio, decidiendo variar 5 % en peso de adición de caucho, de ello se obtuvieron los otros dos valores necesarios; ya que para una investigación se requieren mínimo tres valores para obtener un resultado confiable.

El azufre se utilizó como catalizador entre las partículas del asfalto y caucho, debido a ello y ya que no participa en la reacción química se decidió optar por un valor constante de 2 %, ya que Ramírez (2011), indica que es el porcentaje máximo que se puede adicionar al asfalto sin causar envejecimiento.

Las temperaturas de 160 °C, 180°C y 200°C se consideraron, de acuerdo al reporte de resultados y conclusiones realizadas por Ramírez (2011), donde indica, que a temperatura de mezclado de 180 °C, en la modificación del asfalto; la mezcla adopta una textura homogénea, indicador de que existe una buena interacción entre partículas asfalto - caucho, de allí se optó por definir las temperaturas de mezclado de 160 °C y 200 °C, como temperaturas de prueba.

b) Preparación de los especímenes de prueba (muestras experimentales):

Una vez realizado el diseño del experimento, y el tamizado del caucho; se procedió a preparar los especímenes de prueba, para lo cual se utilizó solamente el material caucho pasante de la malla N° 20 (0.85 mm) y retenido en la malla N° 30 (0.60 mm), que representó 800.1 gramos de caucho disponible para la preparación de las muestras experimentales (especímenes).

Se optó por una granulometría de entre 0.60 mm a 0.85mm de diámetro del caucho, para obtener una mezcla homogénea y exista una adecuada interacción entre las partículas del asfalto - caucho.

De acuerdo a la cantidad disponible de caucho y teniendo en cuenta que el Manual de Ensayo de Materiales del MTC (2016), y las publicaciones de la American Society for Testing and Materials (ASTM) en relación a los ensayos

realizados, indican que para un espécimen de prueba, son necesarios 400 gr de masa total, por lo cual se prepararon las muestras experimentales (especímenes de prueba) tal como se indica en las siguientes tablas.

Tabla N° 3: Especímenes de prueba fabricados a 160 °C

	160 °C		
	MEZCLA N.º1 (10% caucho)	MEZCLA N.º2 (15% caucho)	MEZCLA N.º3 (20% caucho)
	(0.01g)	(0.01g)	(0.01g)
Cemento Asfáltico - PEN60/70 - 88% / 83% / 78%	352.00	332.00	312.00
Caucho - 10% / 15% / 20%	40.00	60.00	80.00
Azufre - 2%	8.00	8.00	8.00
Masa Total (g)	400.00	400.00	400.00
% PEN 60/70	88	83	78
% Caucho	10	15	20
% Azufre	2	2	2
% Mezcla Asfáltica	100	100	100

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 4: Especímenes de prueba fabricados a 180 °C

	180 °C		
	MEZCLA N.º1 (10% caucho)	MEZCLA N.º2 (15% caucho)	MEZCLA N.º3 (20% caucho)
	(0.01g)	(0.01g)	(0.01g)
Cemento Asfáltico - PEN60/70 - 88% / 83% / 78%	352.00	332.00	312.00
Caucho - 10% / 15% / 20%	40.00	60.00	80.00
Azufre - 2%	8.00	8.00	8.00
Masa Total (g)	400.00	400.00	400.00
% PEN 60/70	88	83	78
% Caucho	10	15	20
% Azufre	2	2	2
% Mezcla Asfáltica	100	100	100

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 5: Especímenes de prueba fabricados a 200 °C

	200 °C		
	MEZCLA N.º1 (10% caucho)	MEZCLA N.º2 (15% caucho)	MEZCLA N.º3 (20% caucho)
	(0.01g)	(0.01g)	(0.01g)
Cemento Asfáltico - PEN60/70 - 88% / 83% / 78%	352.00	332.00	312.00
Caucho - 10% / 15% / 20%	40.00	60.00	80.00
Azufre - 2%	8.00	8.00	8.00
Masa Total (g)	400.00	400.00	400.00
% PEN 60/70	88	83	78
% Caucho	10	15	20
% Azufre	2	2	2
% Mezcla Asfáltica	100	100	100

Fuente: Elaboración propia

Para la preparación de los especímenes de prueba o muestras experimentales, se utilizó un mezclador eléctrico que alcanza los 1000 rpm, trabajando tan solo a 500 rpm ya que para una adecuada unión de las partículas de los materiales, se requiere un mezclado lento.

Se indica el procedimiento para la mezcla N° 01 (10 % de caucho a 160 °C), ya que es el mismo procedimiento para todas las mezclas realizadas, tan solo variando las proporciones de los materiales y la temperatura de mezclado tal como se indica en las tablas anteriores.

- ✓ En el recipiente del mezclador se colocó los 352.00 gr de asfalto PEN 60/70, incrementando la temperatura hasta llegar a 160 °C, una vez que el asfalto estuvo a 160 °C, se adicionó el azufre previamente calentado hasta su punto de fusión (115 °C), se procedió con el mezclado por un periodo de 10 minutos, transcurrido los 10 minutos se adicionó los 40 gr de caucho previamente calentado a la misma temperatura del asfalto (160 °C), continuando con el mezclado por una hora. Al terminar el mezclado se procedió a vaciar en los tazones de muestra de Ø 55×35 mm de penetración y en los anillos de punto de ablandamiento para la ejecución de los ensayos.

c) Ejecución de los ensayos

Una vez fabricados todos los especímenes de prueba o muestras experimentales. En el laboratorio de asfalto de la empresa Mota Engil Perú S.A. se procedió a la ejecución de los ensayos de laboratorio a cada una de las mezclas asfálticas.

✓ Ensayo de penetración

Para el ensayo de penetración se utilizó un penetrómetro semiautomático electrónico digital completo, con ajuste vertical micrométrico y temporizador electrónico ajustable del tiempo de caída.

1. Se llenaron los moldes de penetración hasta el tope, y se dejó a temperatura ambiente por espacio de una hora, tapándolos con un recipiente de vidrio invertido para que no se contamine la muestra con ninguna otra partícula extraña.
2. Pasada la hora se introdujeron los moldes por separado en el baño maría a temperatura de 25 °C, montado en el penetrómetro.
3. Después de estar los moldes en el baño maría por espacio de una hora se procedió a realizar tres penetraciones en cada espécimen; ya que las penetraciones no presento una diferencia entre ellas de 2 mm se aceptó las muestras registrando los datos en las fichas técnicas.

✓ Ensayo de punto de ablandamiento (anillo y bola)

Para los ensayos de punto de ablandamiento se utilizó un Aparato automático de anillo y bola (probador automático) controlado por microprocesador avanzado.

1. Se llenaron los anillos con un poco de exceso; para que luego de dejarlo a temperatura ambiente por media hora enrazarlos y queden totalmente planos.
2. Una vez enraizados se dejó media hora más a temperatura ambiente, teniendo cuidado de que no se contaminen con ninguna partícula extraña a la muestra.

3. Se colocó los anillos con los especímenes en el aparato de anillo y bola, luego se colocó las guías para las esferas de acero, luego se llenó el baño con agua destilada hasta una altura de 105 mm por encima de los añillos.
4. Usando unas tenazas se colocaron las dos bolas (esferas de a acero) en el fondo del baño para que adquirieran la misma temperatura de iniciación (5 °C) que el resto del montaje durante 15 minutos.
5. Usando otra vez las tenazas pasado los 15 minutos, se procedió a colocar cada una de las bolas en las guías para su centrado.
6. El probador automático de anillo y bola, determinó el punto de ablandamiento de la muestra; mostrándolo en su pantalla digital. El punto de ablandamiento es tomado por dos barreras de luz colocadas adecuadamente y la temperatura es medida por un sensor PT100, colocado en una posición central. Durante el funcionamiento, un agitador magnético con velocidad ajustable asegura la uniformidad de temperatura en el recipiente. El gradiente de temperatura se mantiene estrictamente a través de la prueba por el sistema electrónico que se ajusta a las Norma ASTM D 36 (Standard Test Method for Softening Point of Bitumen (Ring and Ball Apparatus).

✓ Índice de penetración

Una vez obtenido los resultados de los ensayos de penetración y punto de ablandamiento, se calculó el índice de penetración de cada una de las muestras experimentales aplicando la formula siguiente:

$$IP = \frac{20 * t_{RaB} + 500 * \log P - 1952}{t_{RaB} - 50 * \log P + 120}$$

Donde:

IP = Índice de penetración

t_{RaB} = Punto de ablandamiento en grados Celsius, y

P = Penetración 0.1mm a 25 °C

2.7.3 Fase de gabinete

2.7.3.1 Procesamiento y análisis de datos

Con la ayuda del software Microsoft Excel, se procedió a procesar los datos obtenidos en la fase experimental; analizándolos mediante tablas y/o gráficos comparativos, identificando el comportamiento físico-mecánico de las mezclas asfálticas producidas, comparándolas con las del asfalto convencional (PEN 60/70), posteriormente se determinó las muestras producidas que cumplen con las especificaciones técnicas para asfaltos modificados con caucho; estipulado por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones y se realizó una comparación técnico-económica, de la producción de una mezcla asfáltica convencional y una modificada con adición de caucho de neumáticos reciclados, mediante un análisis de costo unitario de la partida: producción de mezcla asfáltica en caliente, luego se identificó las ventajas y desventajas que se obtiene al modificar el asfalto PEN 60/70 con adición de caucho de neumáticos reciclados.

III. RESULTADOS

3.1 Caracterización del granulo de caucho

Tabla N° 6: Granulometría del caucho obtenido de los neumáticos reciclados

Tamiz	Abertura	Peso Retenido	Retenido Parcial	Retenido Acumulado	Acumulado Pasante
8	2.360	0.43	0.0	0.0	100
10	2.000	4.55	0.1	0.1	99.9
16	1.180	1439.39	28.8	28.9	71.1
20	0.850	2089.66	41.7	70.6	29.4
30	0.600	800.1	16	86.6	13.4
40	0.425	353.23	7.1	93.7	6.3
50	0.300	195.47	3.9	97.6	2.4
60	0.250	68.27	1.4	99	1.0
80	0.180	41.78	0.8	99.8	0.2
100	0.150	3.45	0.1	99.9	0.1
140	0.106	2.71	0.1	100	0.0
200	0.075	2.28	0.0	100	0.0

Fuente: Elaboración propia

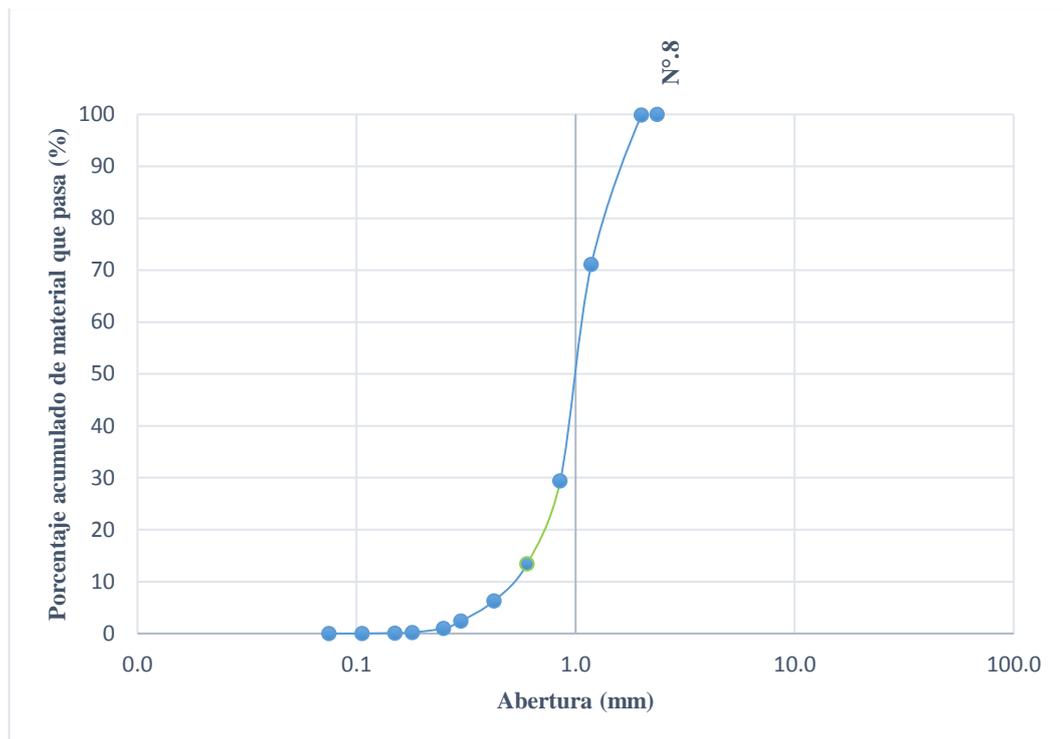
En la tabla N° 6, se muestra la granulometría del caucho obtenido de los neumáticos reciclados, de lo cual se utilizó tan solo el material pasante de la malla número 20 y retenido en la malla número 30, obteniendo 800.1 gramos de caucho, representando el 16 % del material caucho total obtenido.

Tabla N° 7: Composición de la muestra de caucho

Descripción	
1. Peso del Material	
Peso Inicial Total (Gr)	5005.9
2. Características	
Caucho (%)	100
Módulo de Fineza (%)	2.84

Fuente: Elaboración propia

Gráfico N° 2: Curva granulométrica del caucho obtenido de los neumáticos reciclados

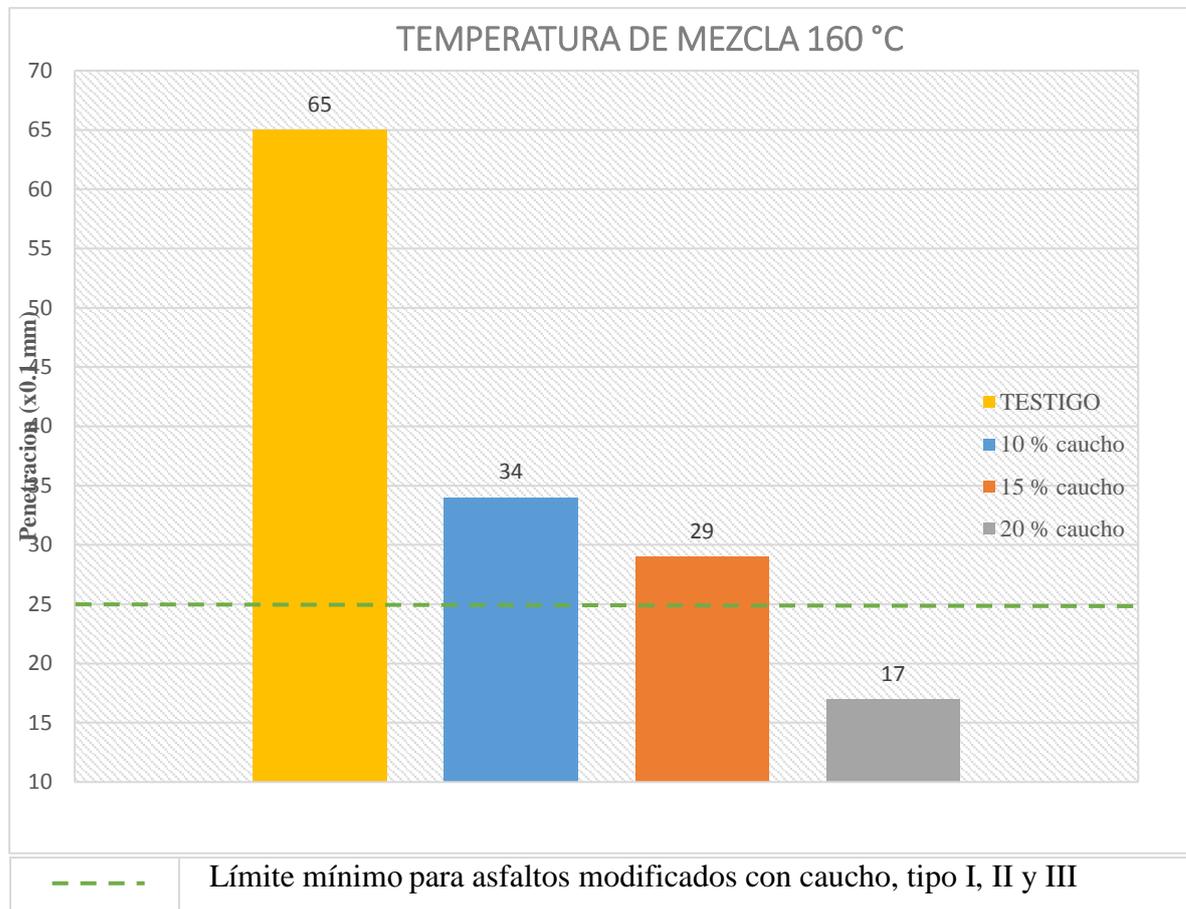


Fuente: Elaboración propia

El gráfico N° 2, representa la curva granulométrica del material caucho total, obtenido de los neumáticos reciclados, de la cual, la parte de color verde, representa la curva granulométrica del material caucho de gránulos de 0.60 a 0.85mm utilizado en esta investigación.

3.2 Consistencia de las muestras asfálticas producidas

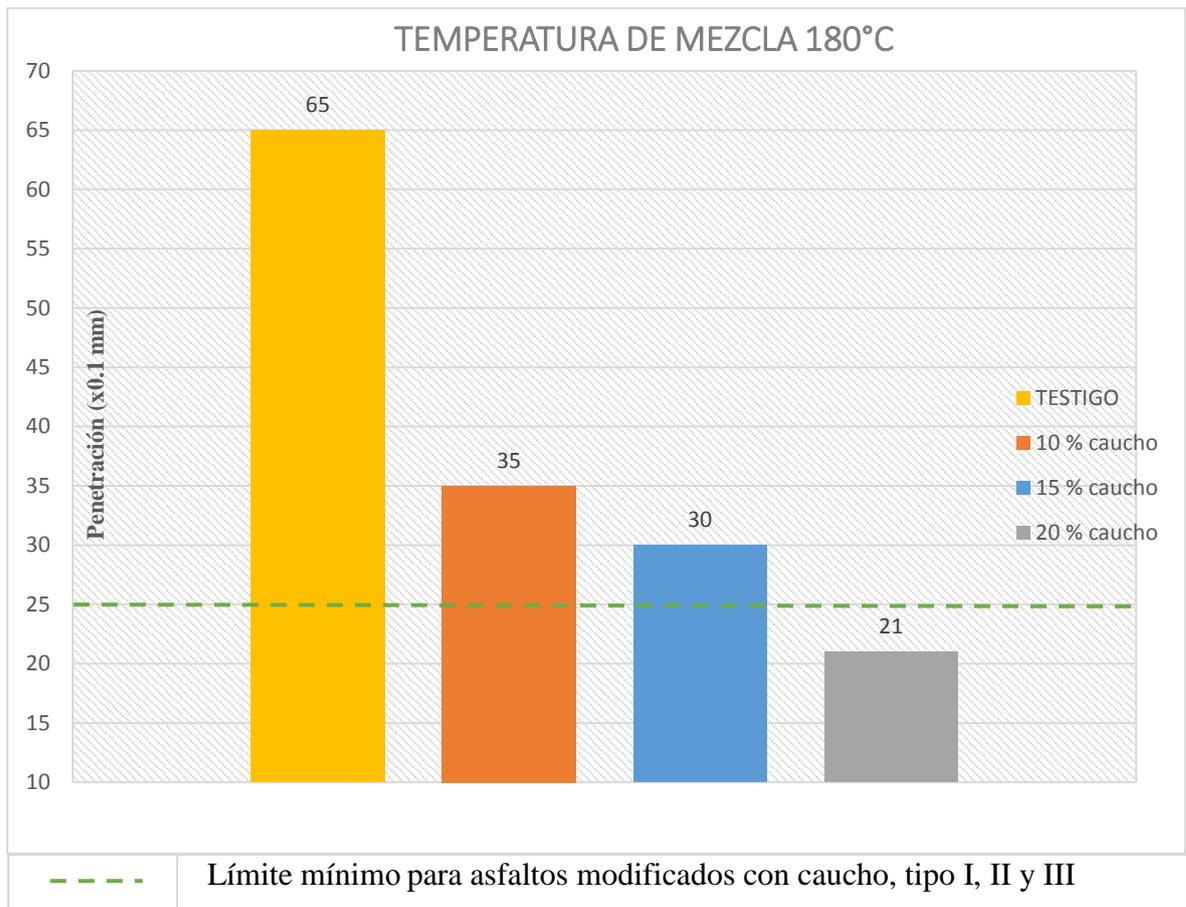
Gráfico N° 3: Penetración de las muestras producidas a 160 °C respecto a la muestra control



Fuente: Elaboración propia

En el gráfico N° 3, se puede evidenciar que con temperatura de mezclado de 160 °C, el asfalto se va volviendo más rígido conforme se va adicionando mayor cantidad de caucho de neumáticos reciclados; cumpliendo con el límite mínimo para asfaltos modificados con caucho, tanto para tipo I, tipo II y tipo II, respecto a la penetración tan solo las muestras con 10 % y 15 % de adición de caucho, la muestra con 20 % de adición de caucho no cumple con las especificaciones debido a que el límite mínimo estipulado es 25 mm.

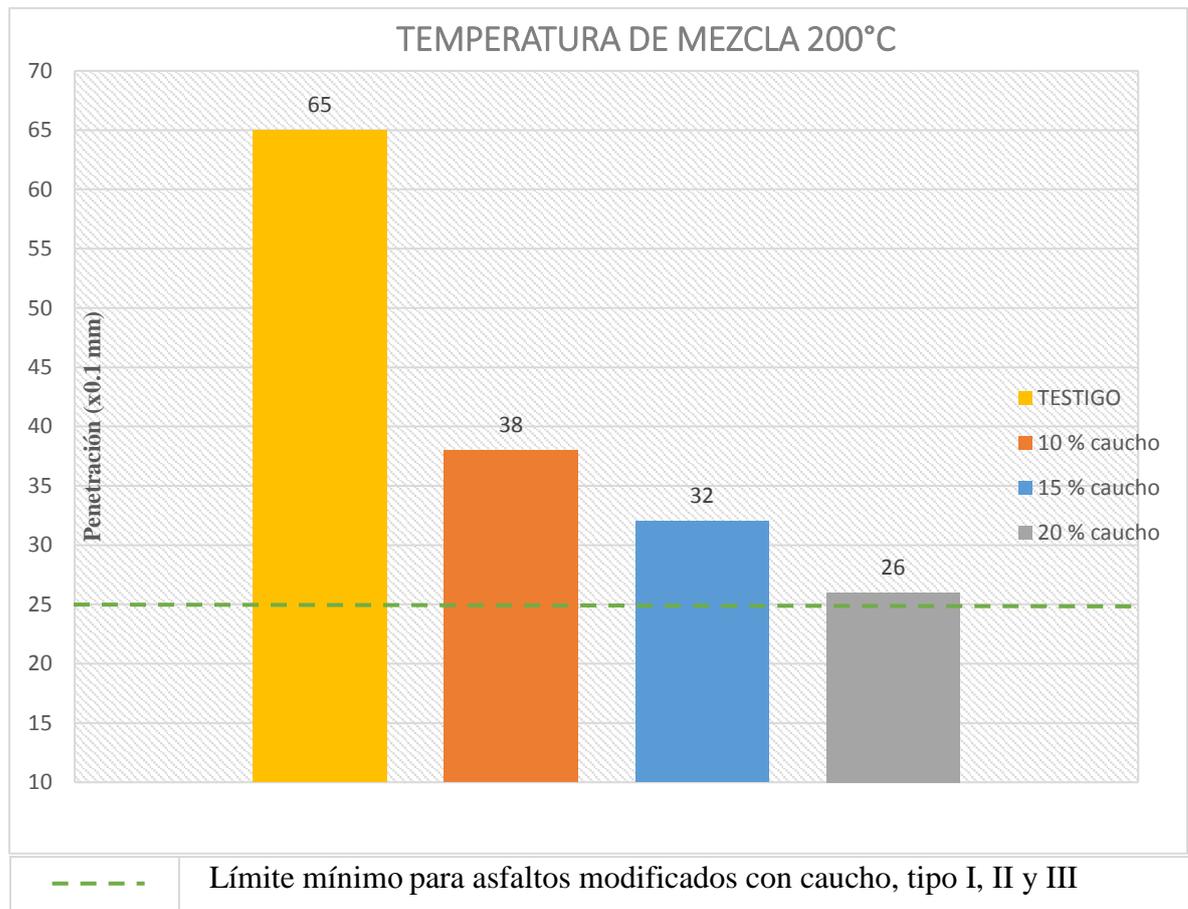
Gráfico N° 4: Penetración de las muestras producidas a 180 °C respecto a la muestra control



Fuente: Elaboración propia

En el gráfico N° 4 se puede evidenciar que con temperatura de mezclado de 180 °C, el asfalto se va volviendo más rígido conforme se va adicionando mayor cantidad de caucho de neumáticos reciclados; cumpliendo con el límite mínimo para asfaltos modificados con caucho, tanto para tipo I, tipo II y tipo II, respecto a la penetración tan solo las muestras con 10 % y 15 % de adición de caucho, la muestra con 20 % de adición de caucho no cumple con las especificaciones debido a que el límite mínimo estipulado es 25 mm.

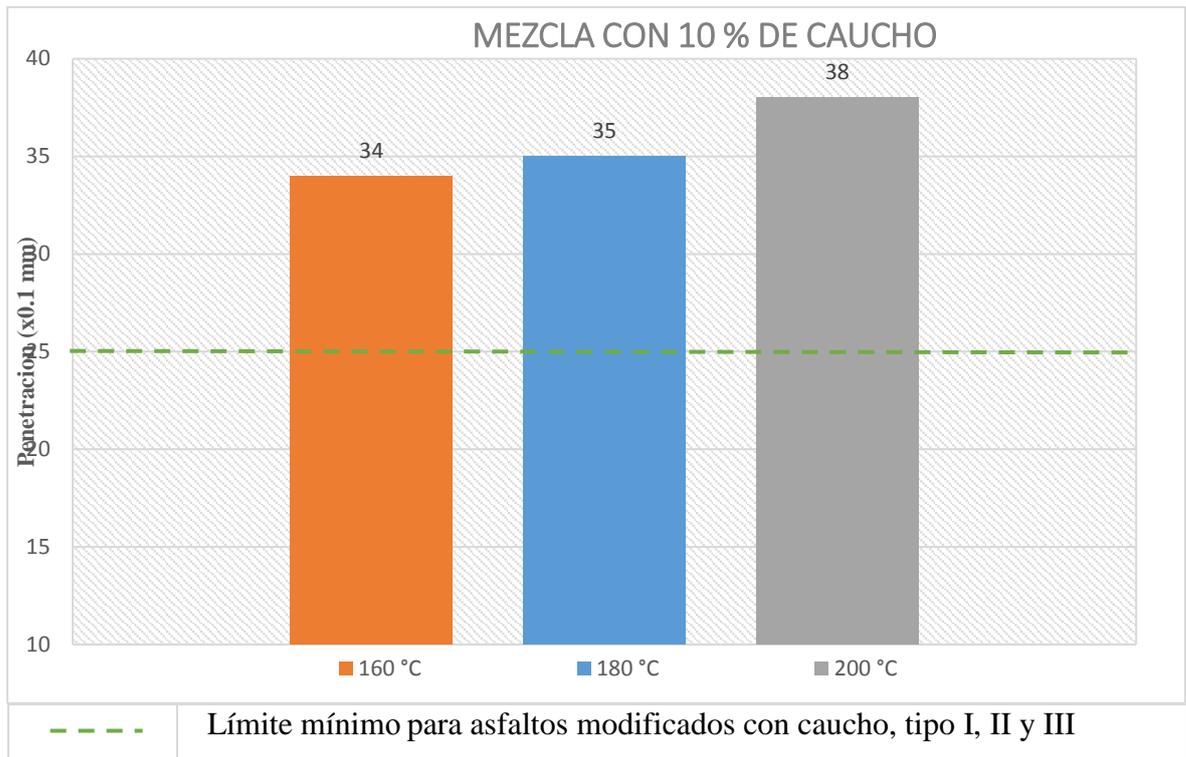
Gráfico N° 5: Penetración de las muestras producidas a 200 °C respecto a la muestra control



Fuente: Elaboración propia

En el gráfico N° 5, se puede evidenciar que con temperatura de mezclado de 200 °C, el asfalto se va volviendo más rígido con forme se va adicionando mayor cantidad de caucho de neumáticos reciclados; cumpliendo con el límite mínimo para asfaltos modificados con caucho, tanto para tipo I, tipo II y tipo II, respecto a la penetración todas las muestras producidas.

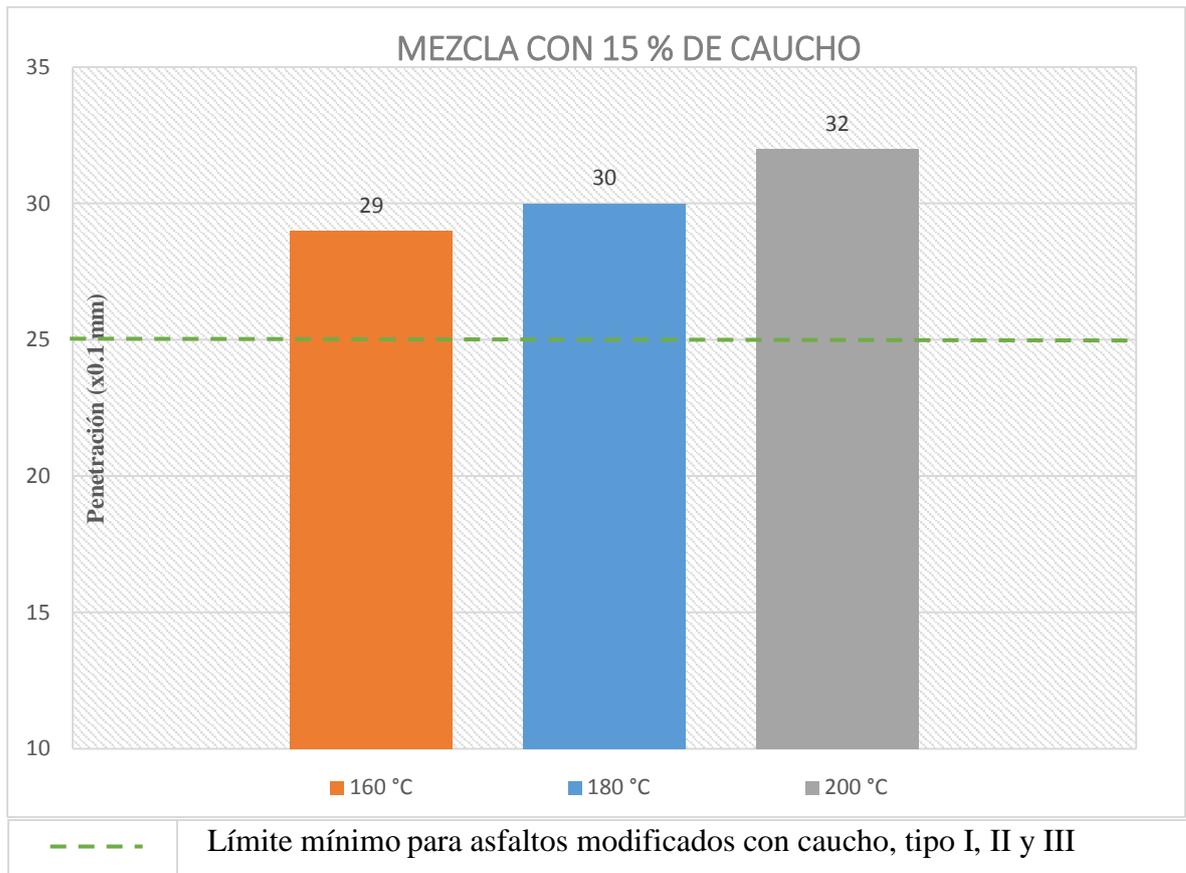
Gráfico N° 6: Penetración de las muestras con adición de 10 % de caucho.



Fuente: Elaboración propia

El gráfico N° 6 muestra que el asfalto con adición de 10 % de caucho de neumáticos reciclados se va volviendo más blando, con forme se va incrementando la temperatura de producción de la mezcla asfáltica; cumpliendo todas las muestras con las especificaciones técnicas para asfaltos modificados con caucho, respecto a la penetración, tanto para tipo I, tipo II y tipo III.

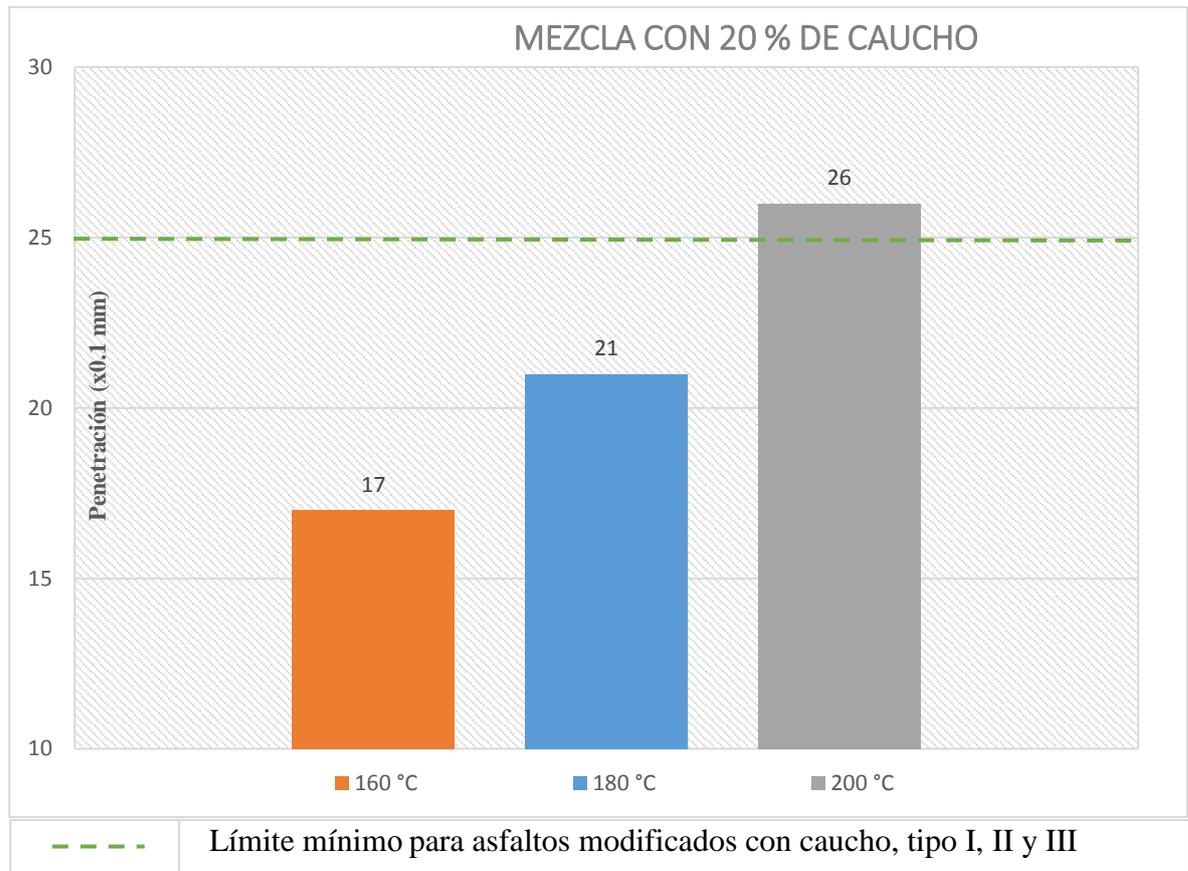
Gráfico N° 7: Penetración de las muestras con adición de 15 % de caucho.



Fuente: Elaboración propia

Se evidencia que el asfalto con adición de 15 % de caucho de neumáticos reciclados se va volviendo más blando, con forme se va incrementando la temperatura de producción de la muestra experimental; cumpliendo todas las muestras con las especificaciones técnicas para asfaltos modificados con caucho, respecto a la penetración, tanto para tipo I, tipo II y tipo III.

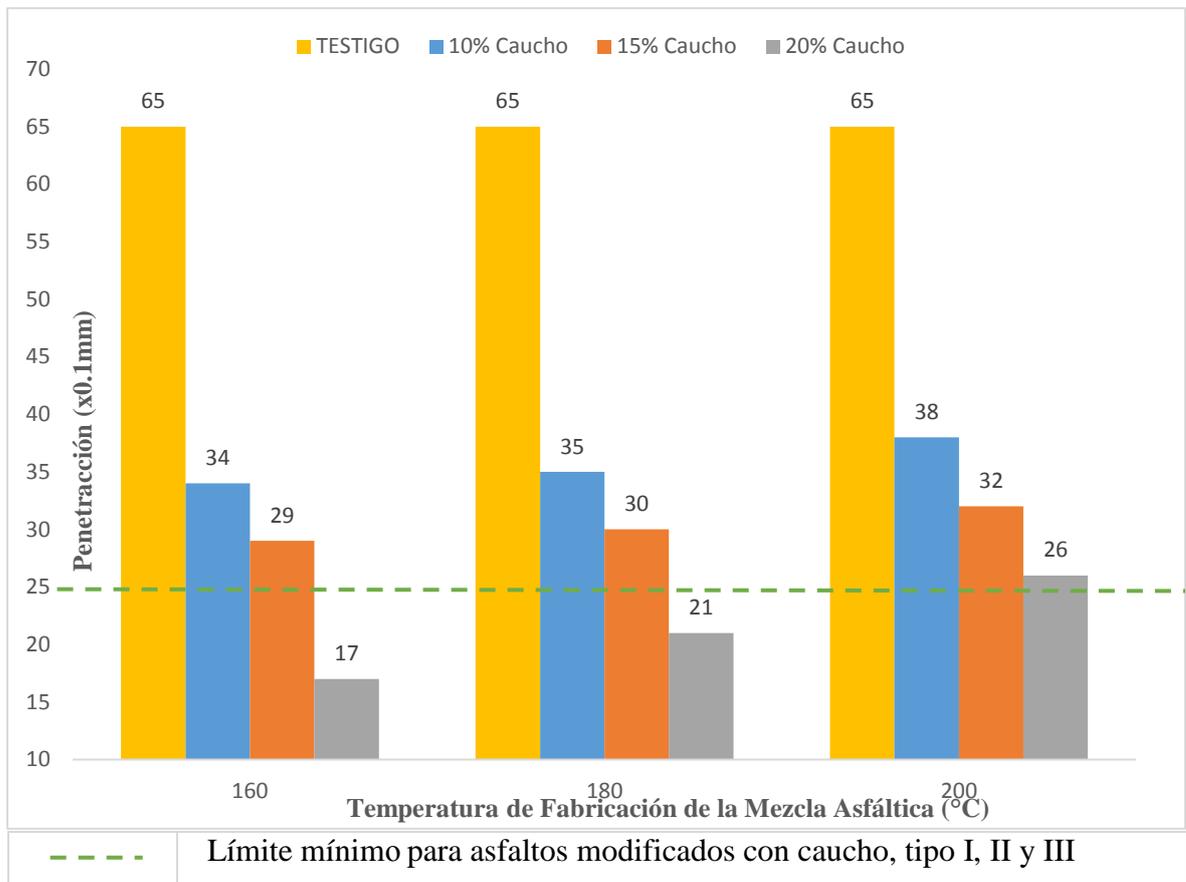
Gráfico N° 8: Penetración de las muestras con adición de 20 % de caucho.



Fuente: Elaboración propia

Se observa que la muestra con adición de 20 % de caucho de neumáticos reciclados se va volviendo más blando, con forme se va incrementando la temperatura de producción de la muestra; cumpliendo con las especificaciones técnicas para asfaltos modificados con caucho, respecto a la penetración, tanto para tipo I, tipo II y tipo III, tan solo la muestra producida a 200 °C.

Gráfico N° 9: Resumen de la penetración de todas las muestras producidas respecto a la muestra control (Testigo).

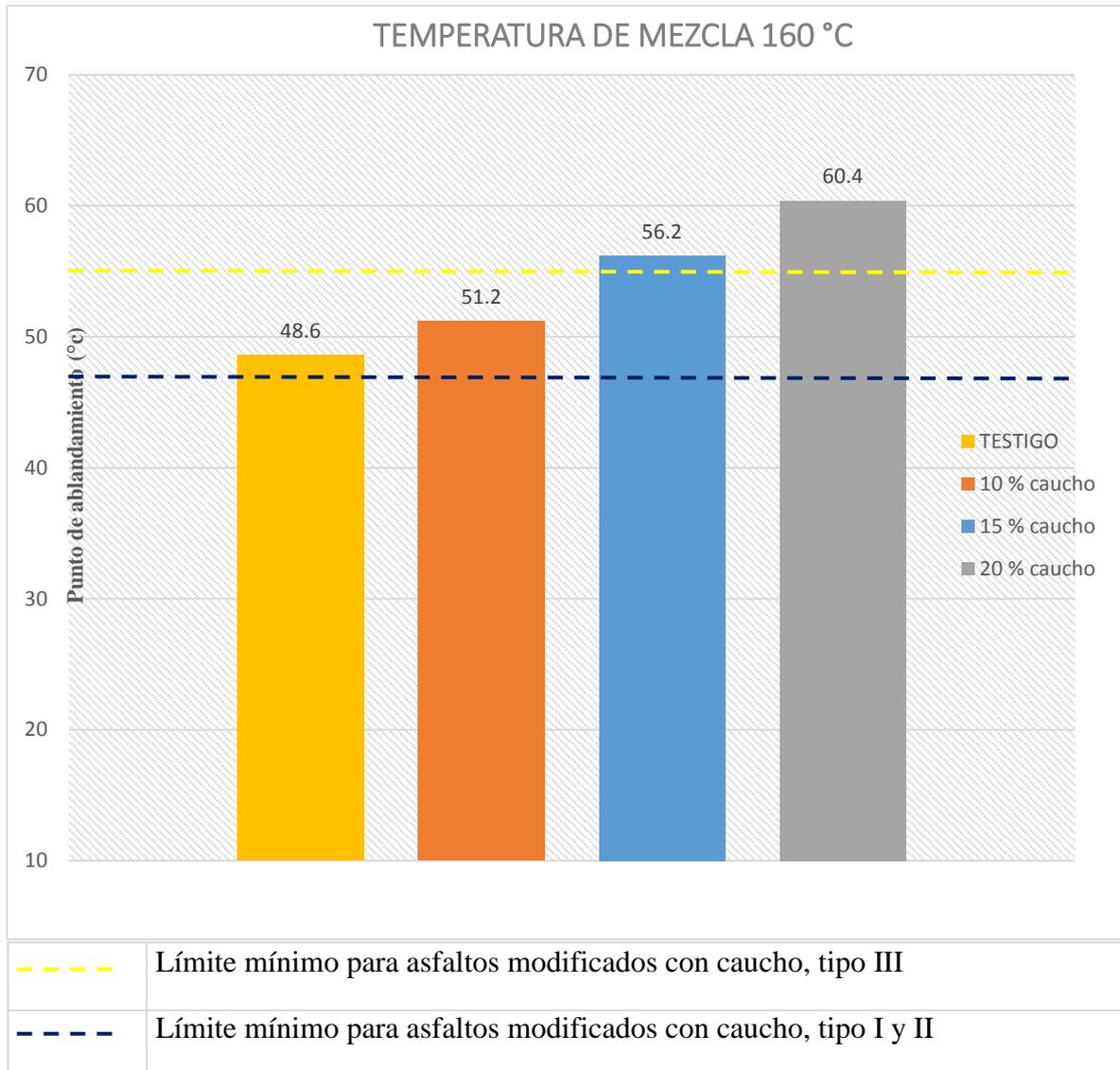


Fuente: Elaboración propia

En el gráfico N° 9, se puede observar, que conforme se va adicionando mayor cantidad de caucho de neumáticos reciclados al asfalto, este se vuelve más consistente, y de manera opuesta se evidencia que conforme se va aumentando la temperatura de fabricación de las muestras, estas se vuelven más blandas. Cumpliendo con las especificaciones técnicas para asfaltos modificados con caucho, respecto a la penetración, todas las muestras producidas a 200 °C, teniendo como la muestra con mejor resultado obtenido; la muestra producida a 200 °C con adición de 20 % de caucho, debido a que esta es la que mayor rigidez adopta pero mantiene su visco-elasticidad.

3.3 Tendencia a fluir de las muestras asfálticas producidas

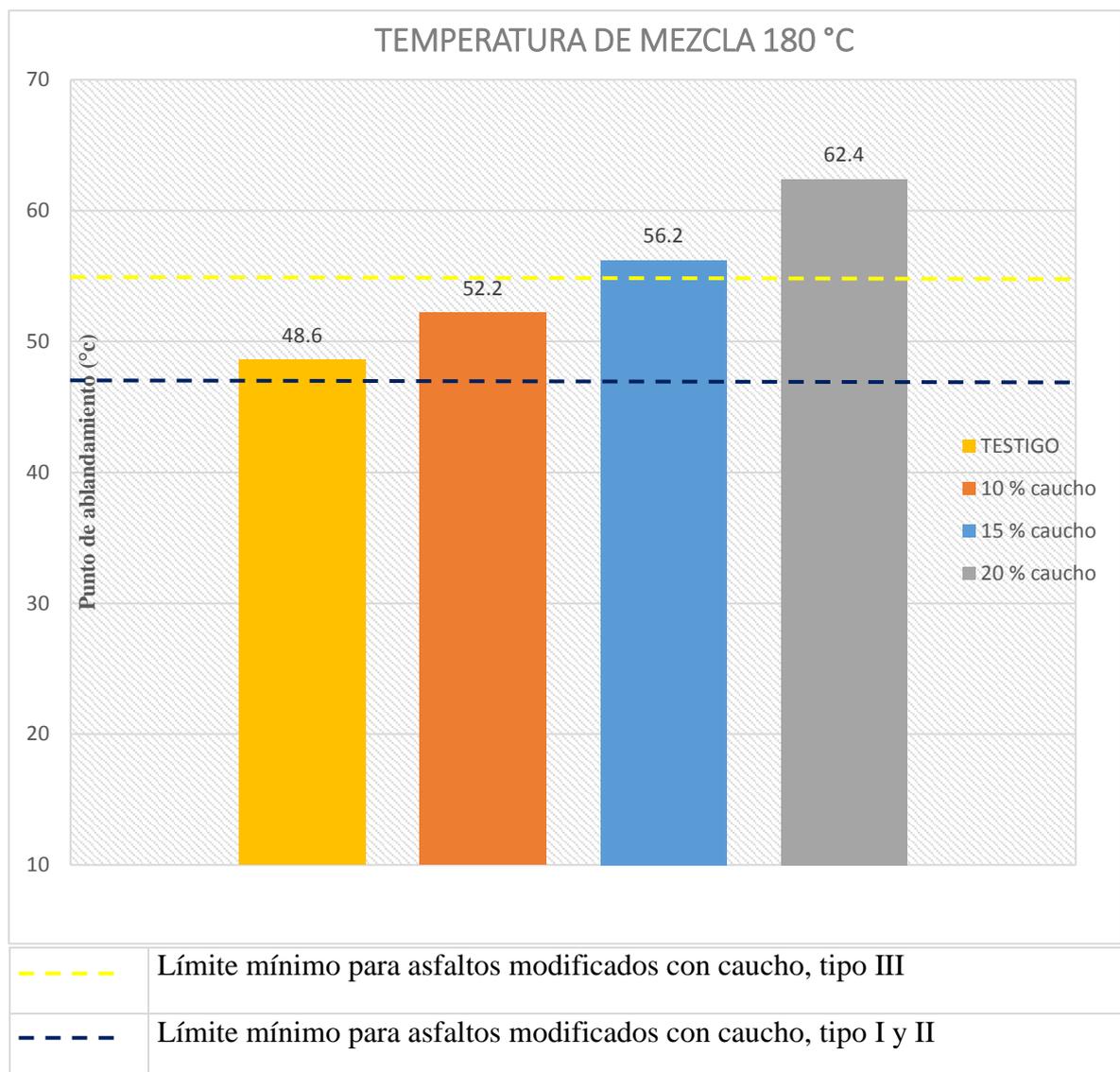
Gráfico N° 10: Punto de ablandamiento de las muestras producidas a 160 °C respecto a la muestra control.



Fuente: Elaboración propia

En las muestras asfálticas producidas a 160 °C, se observa que la temperatura en la que estas muestras tienden a fluir se incrementa con la adición progresiva de caucho de neumáticos reciclados, evidenciando un incremento máximo de 11.8 °C, en relación a la muestra control (testigo).

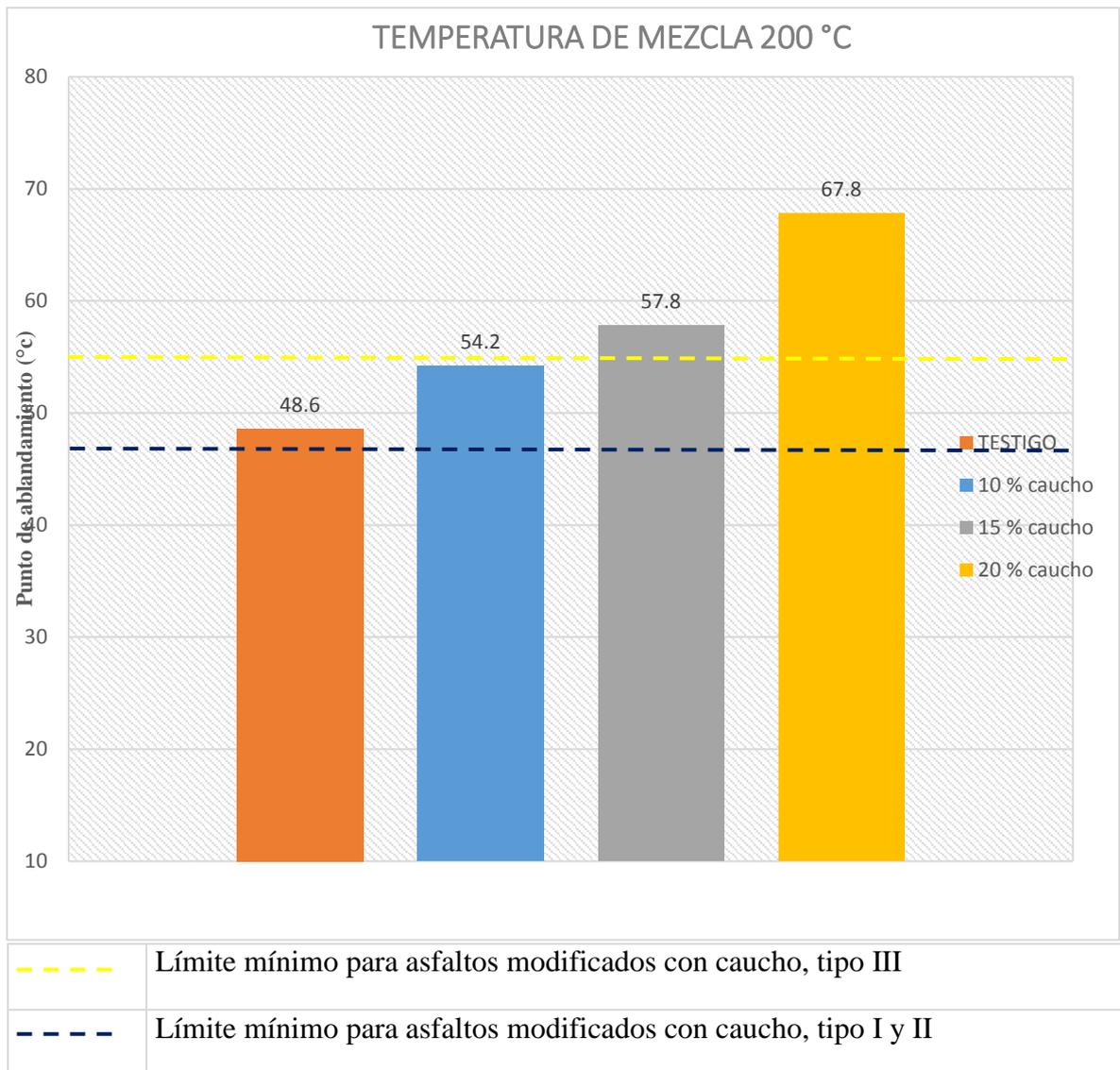
Gráfico N° 11: Punto de ablandamiento de las muestras producidas a 180 °C respecto a la muestra control.



Fuente: Elaboración propia

En las muestras asfálticas producidas a 180 °C, se observa que la temperatura en la que estas muestras tienden a fluir se incrementa con la adición progresiva de caucho de neumáticos reciclados, evidenciando un incremento máximo de 13.8 °C, en relación a la muestra control (testigo).

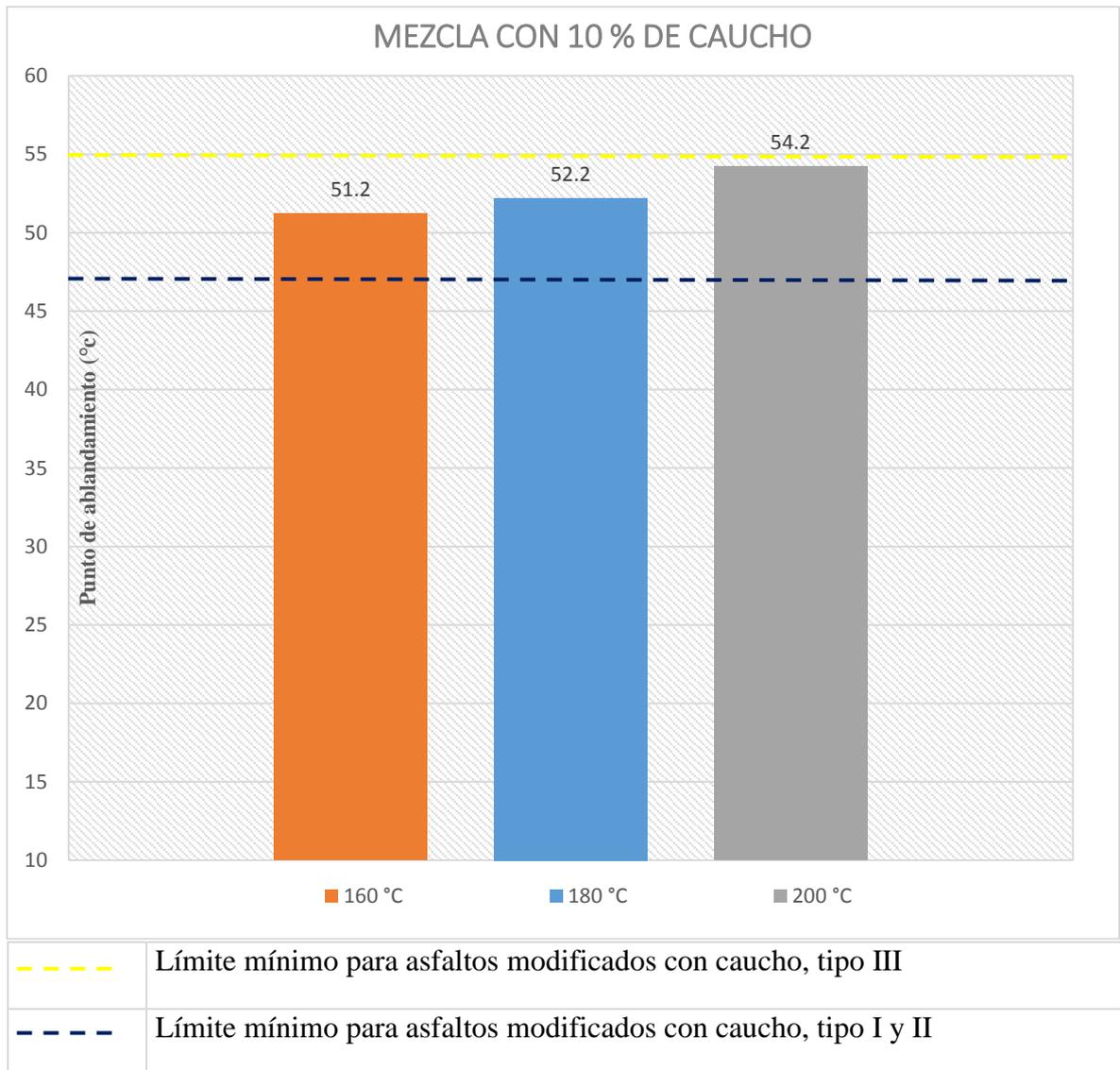
Gráfico N° 12: Punto de ablandamiento de muestras producidas a 200 °C respecto a la muestra control.



Fuente: Elaboración propia

En las muestras asfálticas producidas a 200 °C, se observa que la temperatura en la que estas muestras tienden a fluir se incrementa con la adición progresiva de caucho de neumáticos reciclados, evidenciando un incremento máximo de 19.2 °C, en relación a la muestra control (testigo).

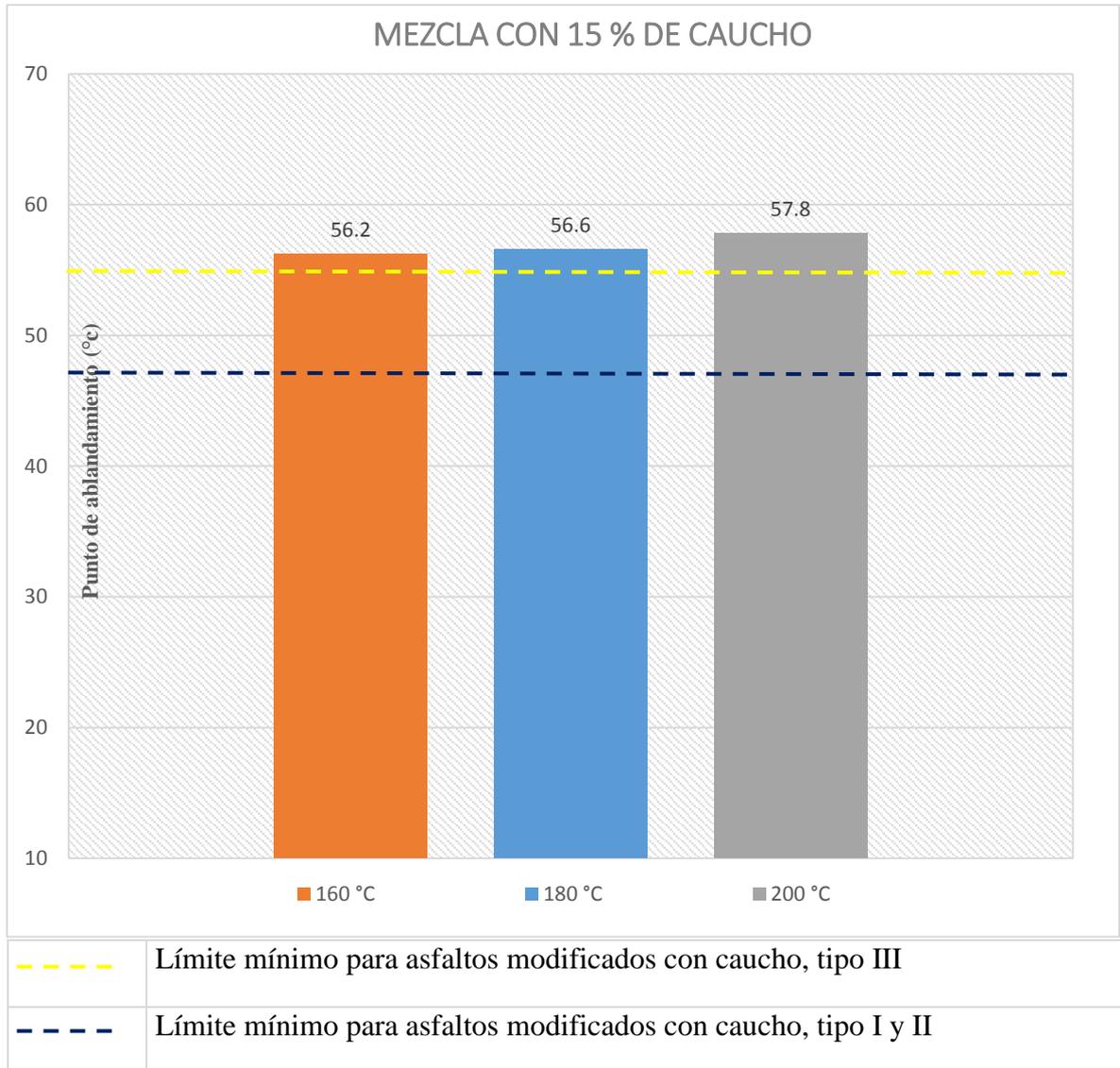
Gráfico N° 13: Punto de ablandamiento de las muestras con adición de 10 % de caucho.



Fuente: *Elaboración propia*

En el gráfico N° 13, se observa que la temperatura en la que la muestra con 10 % de caucho de neumáticos reciclados tiende a fluir, se incrementa con forme se va incrementando su temperatura de fabricación, pero no existe un incremento considerable ya que el máximo incremento entre ellas es de 3 °C.

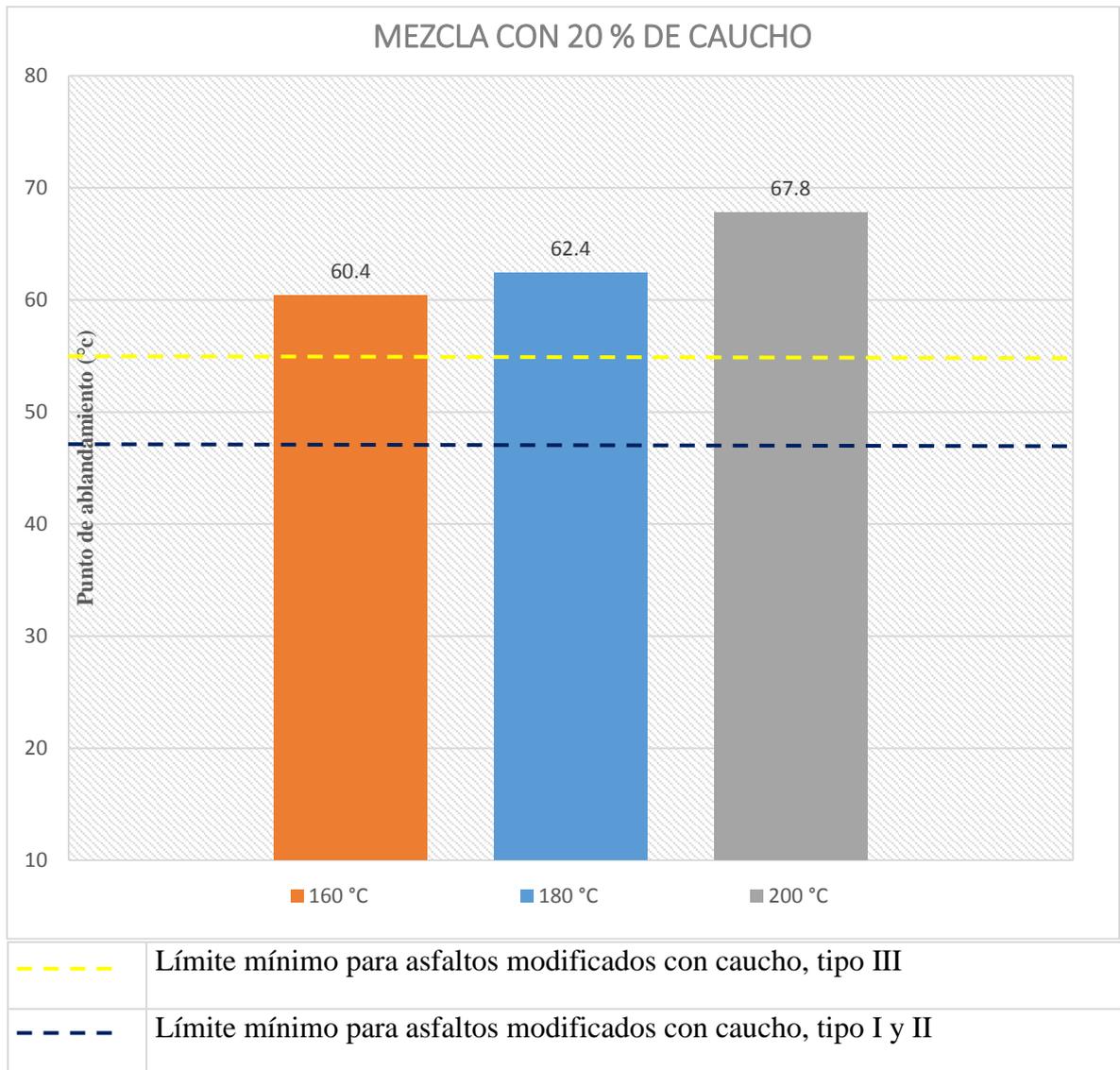
Gráfico N° 14: Punto de ablandamiento de las muestras con adición de 15 % de caucho.



Fuente: *Elaboración propia*

En el gráfico N° 14, se observa que la temperatura en la que la muestra con adición de 15 % de caucho de neumáticos reciclados tiende a fluir, se incrementa con forme se va incrementando su temperatura de fabricación, pero no existe un incremento considerable ya que el máximo incremento entre ellas es de 1.6 °C; incremento menor que lo observado en el gráfico N° 13.

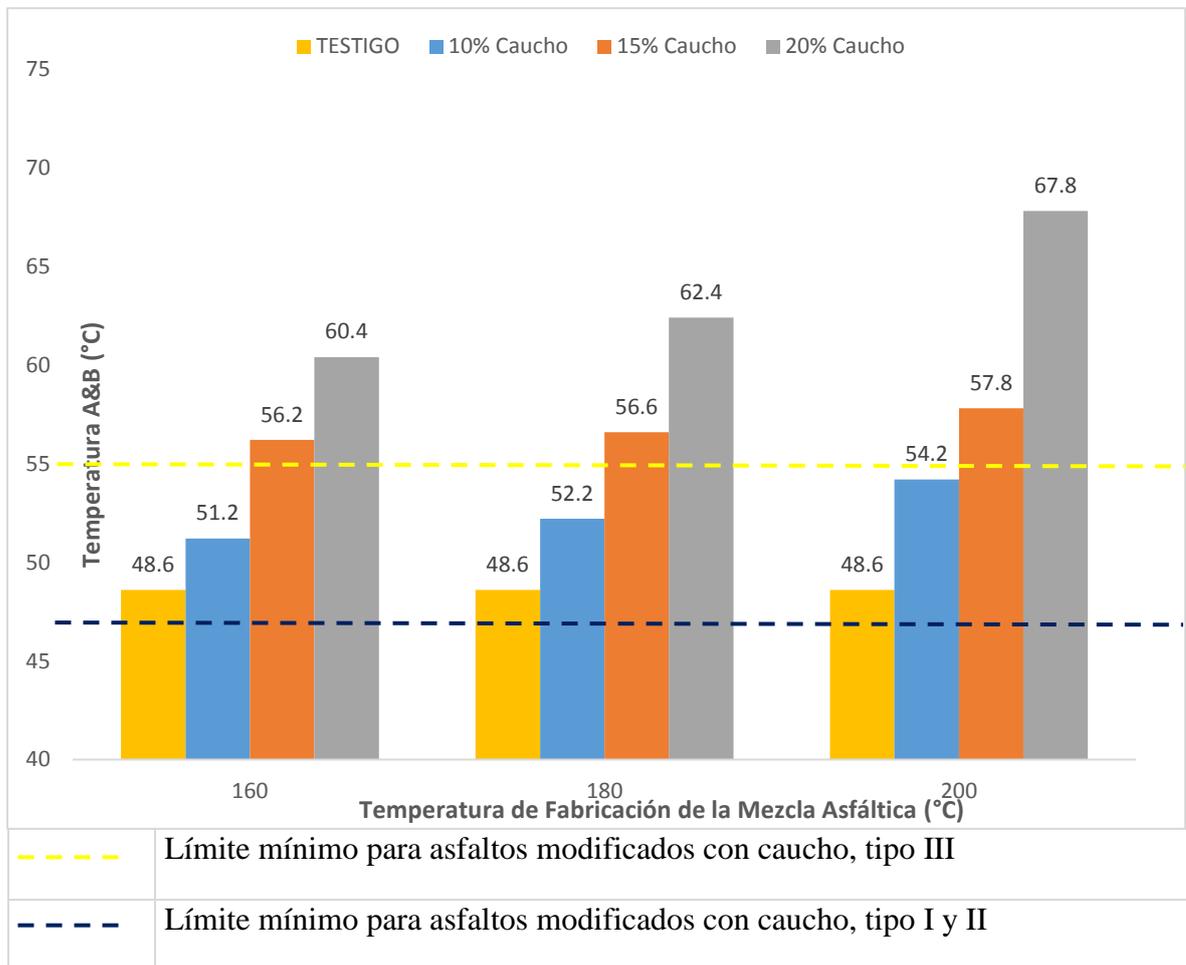
Gráfico N° 15: Punto de ablandamiento de las muestras con adición de 20 % de caucho.



Fuente: *Elaboración propia*

Se observa que la temperatura en la que la muestra con adición de 20 % de caucho de neumáticos reciclados tiende a fluir, se incrementa con forme se va incrementando su temperatura de fabricación, evidenciándose un incremento moderadamente considerable ya que el máximo incremento entre estas muestras es de 7 °C, incremento mayor a lo observado en el gráfico N° 13 y N°14.

Gráfico N° 16: Resumen del punto de ablandamiento de todas las muestras producidas, respecto a la muestra control (Testigo).

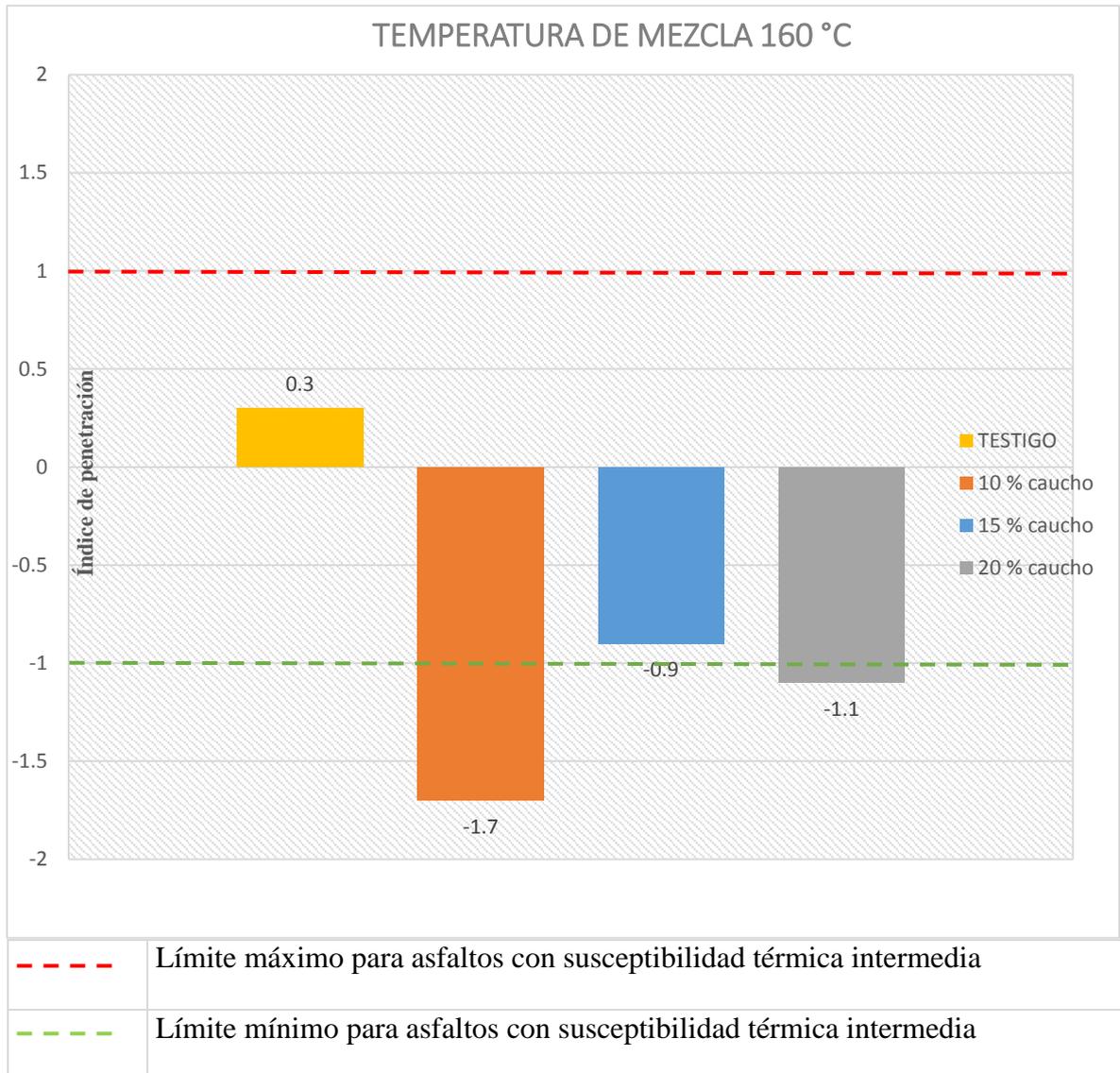


Fuente: Elaboración propia

El gráfico N° 16, evidencia que la adición de caucho de neumáticos reciclados al asfalto PEN 60/70, tiene relación directa con la temperatura en la que las muestras tienden a fluir, ya que se puede observar que conforme mayor cantidad de caucho se adiciona, mayor es el punto de ablandamiento; de la misma manera sucede con el incremento de la temperatura de fabricación ya que se puede observar que las muestras con la misma proporción de caucho adicionado, incrementan su punto de ablandamiento conforme se va aumentando su temperatura de fabricación.

3.4 Susceptibilidad térmica de las mezclas asfálticas producidas

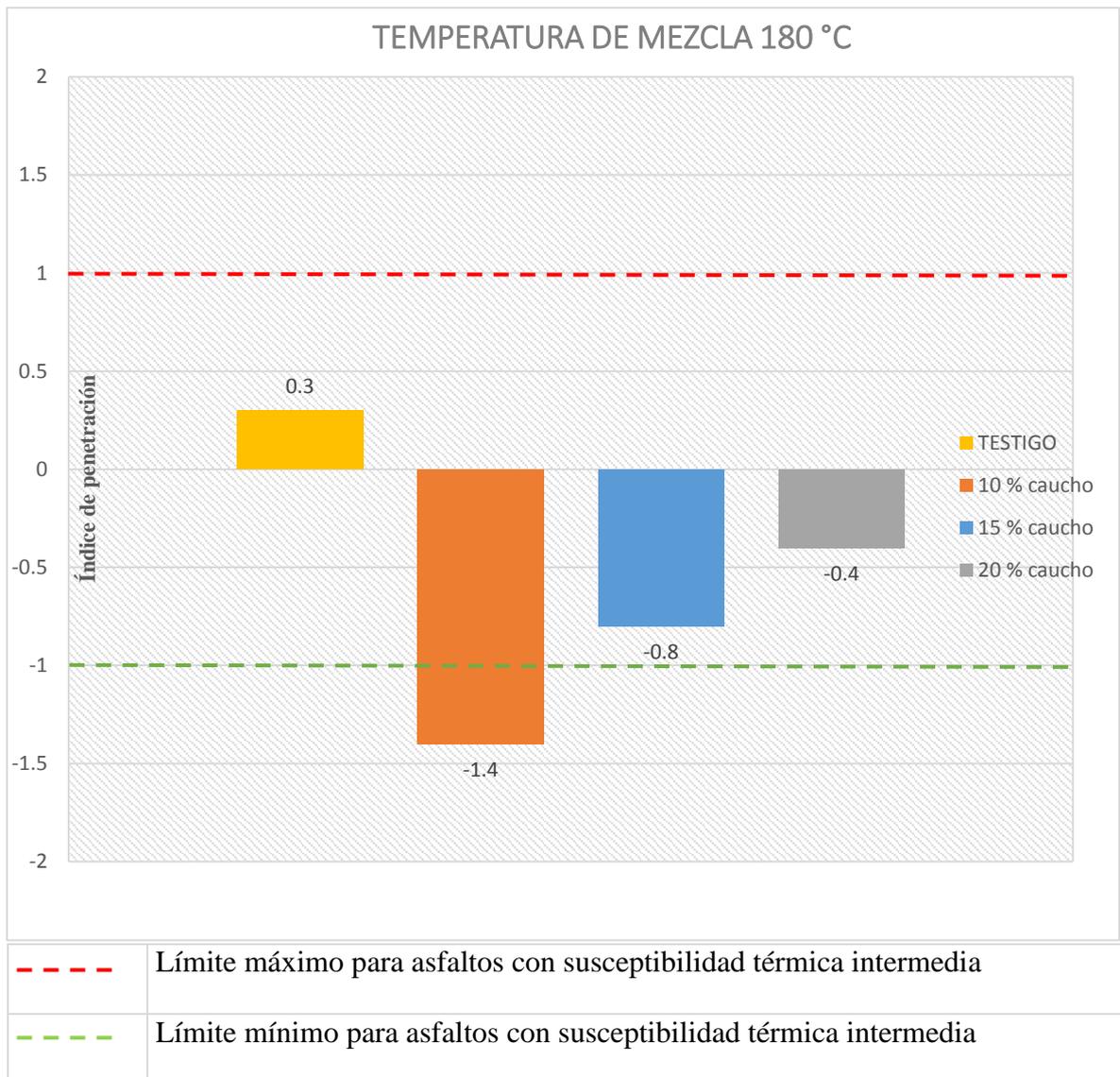
Gráfico N° 17: Índice de penetración de las muestras producidas a 160 °C respecto a la muestra control.



Fuente: Elaboración propia

Se evidencia que las mezclas producidas a 160 °C, se comportan de manera diferente en relación a la susceptibilidad térmica, ya que se observa que la muestra con adición de 10 % de caucho, adopta mayor susceptibilidad térmica en relación a las demás muestras, observando que la muestra que mejor comportamiento en relación a la susceptibilidad a la temperatura presenta, es la muestra con adición de 15 % de caucho.

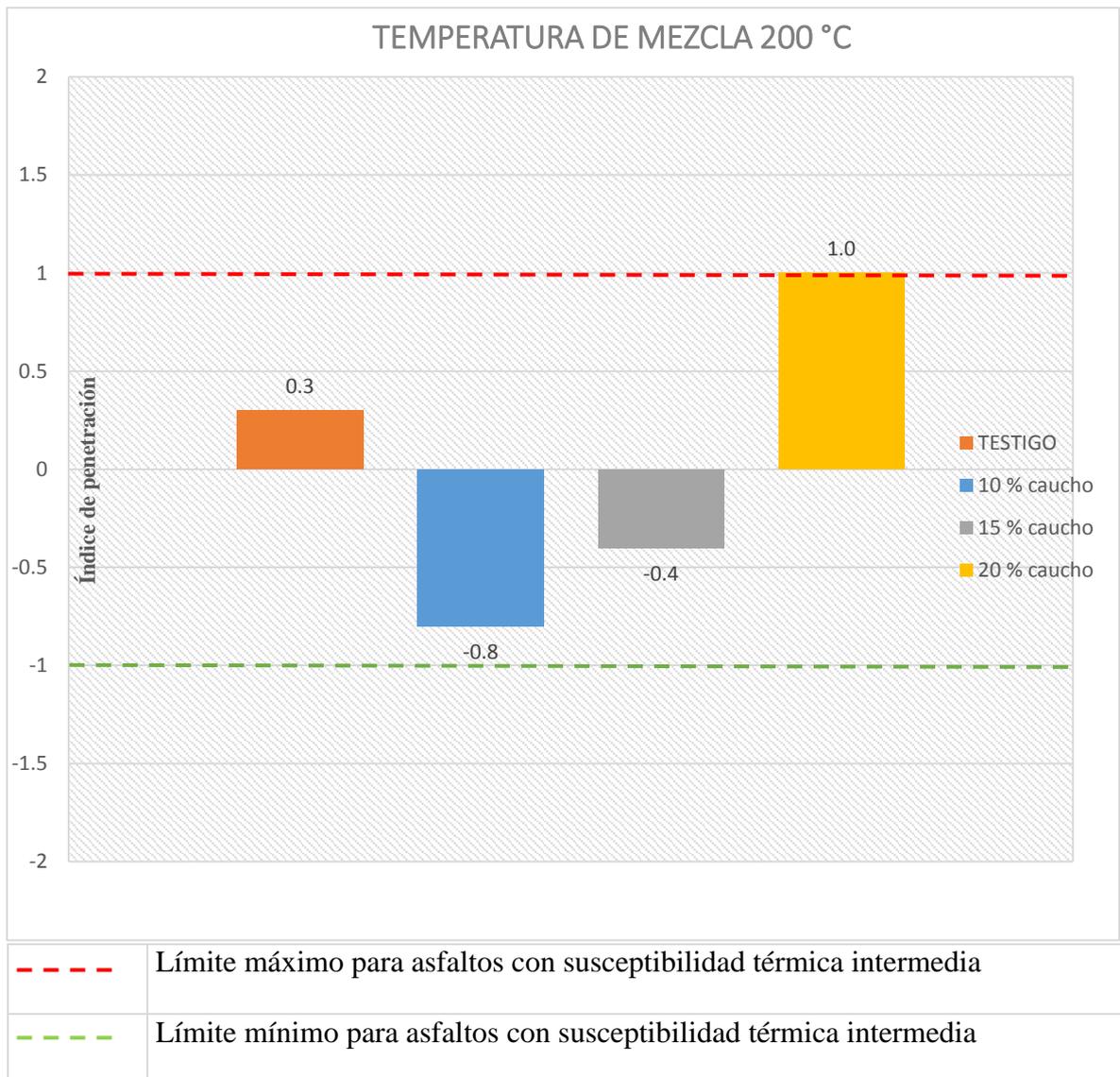
Gráfico N° 18: Índice de penetración de las muestras producidas a 180 °C respecto a la muestra control.



Fuente: *Elaboración propia*

El gráfico N° 18, evidencia que las mezclas producidas a 180 °C, no disminuye la susceptibilidad térmica en relación a la muestra control (testigo), pero se mantiene una tendencia de que conforme se va adicionando mayor cantidad de caucho al asfalto, este va disminuyendo su susceptibilidad térmica, acercándose así al comportamiento de la muestra control.

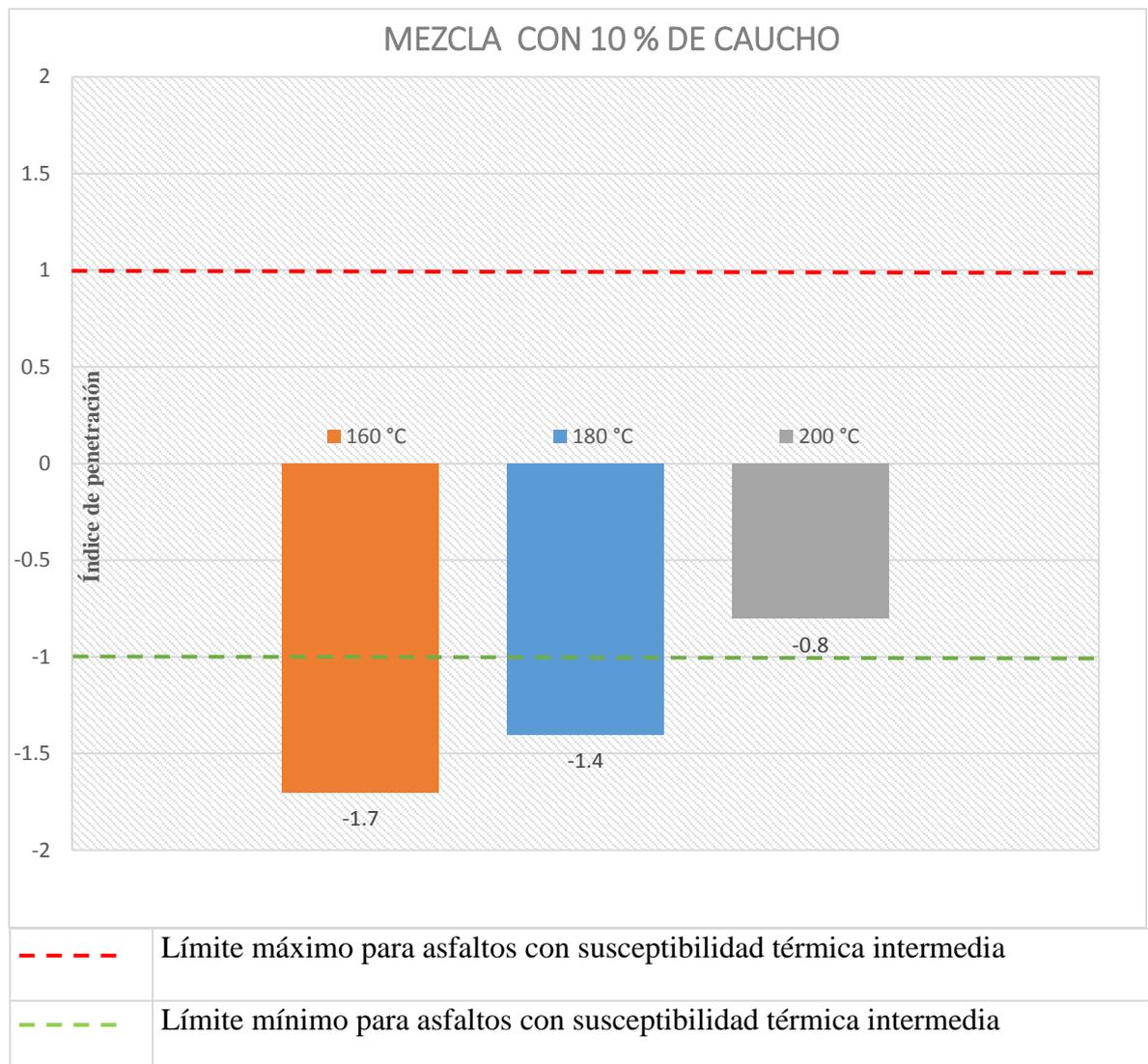
Gráfico N° 19: Índice de penetración de las muestras producidas a 200 °C respecto a la muestra control.



Fuente: Elaboración propia

El gráfico N° 19, evidencia que de las mezclas producidas a 200 °C, tan solo la muestra con adición de 20 % de caucho de neumáticos reciclados, disminuye su susceptibilidad térmica en relación a la muestra control (testigo); manteniéndose la tendencia de que al adicionar caucho a la muestra control (testigo), este aumenta su susceptibilidad térmica, pero al seguir adicionando en mayor cantidad; el asfalto va disminuyendo su susceptibilidad térmica, llegando a superar el comportamiento en relación a la susceptibilidad térmica de la muestra control.

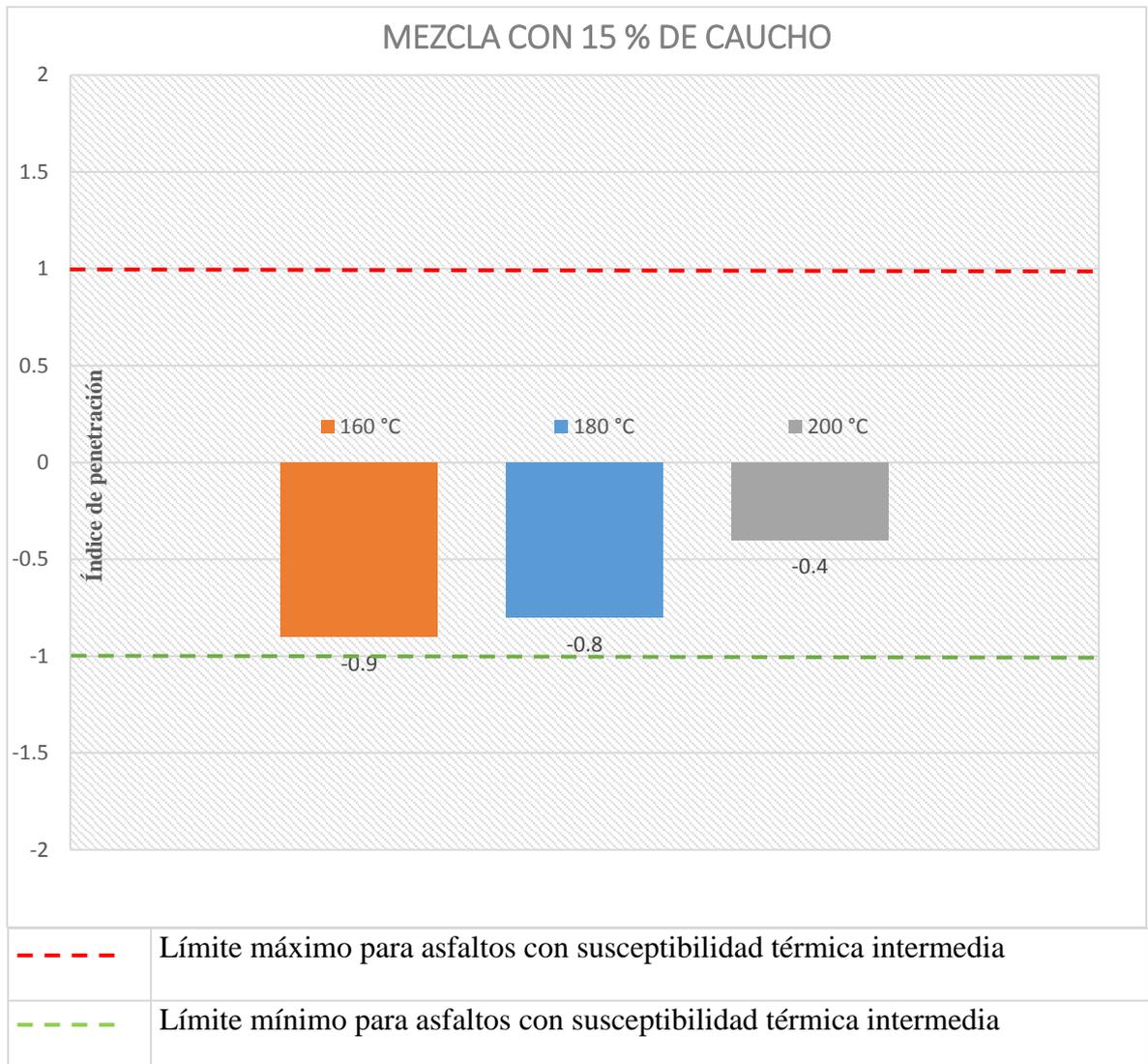
Gráfico N° 20: Índice de penetración de las muestras con adición de 10 % de caucho.



Fuente: *Elaboración propia*

En el gráfico N° 20, se muestra el comportamiento del asfalto con adición de 10 % de caucho de neumáticos reciclados en sus diferentes temperaturas de producción, en la cual se evidencia una disminución a la susceptibilidad térmica conforme se va incrementando la temperatura de producción de la muestra.

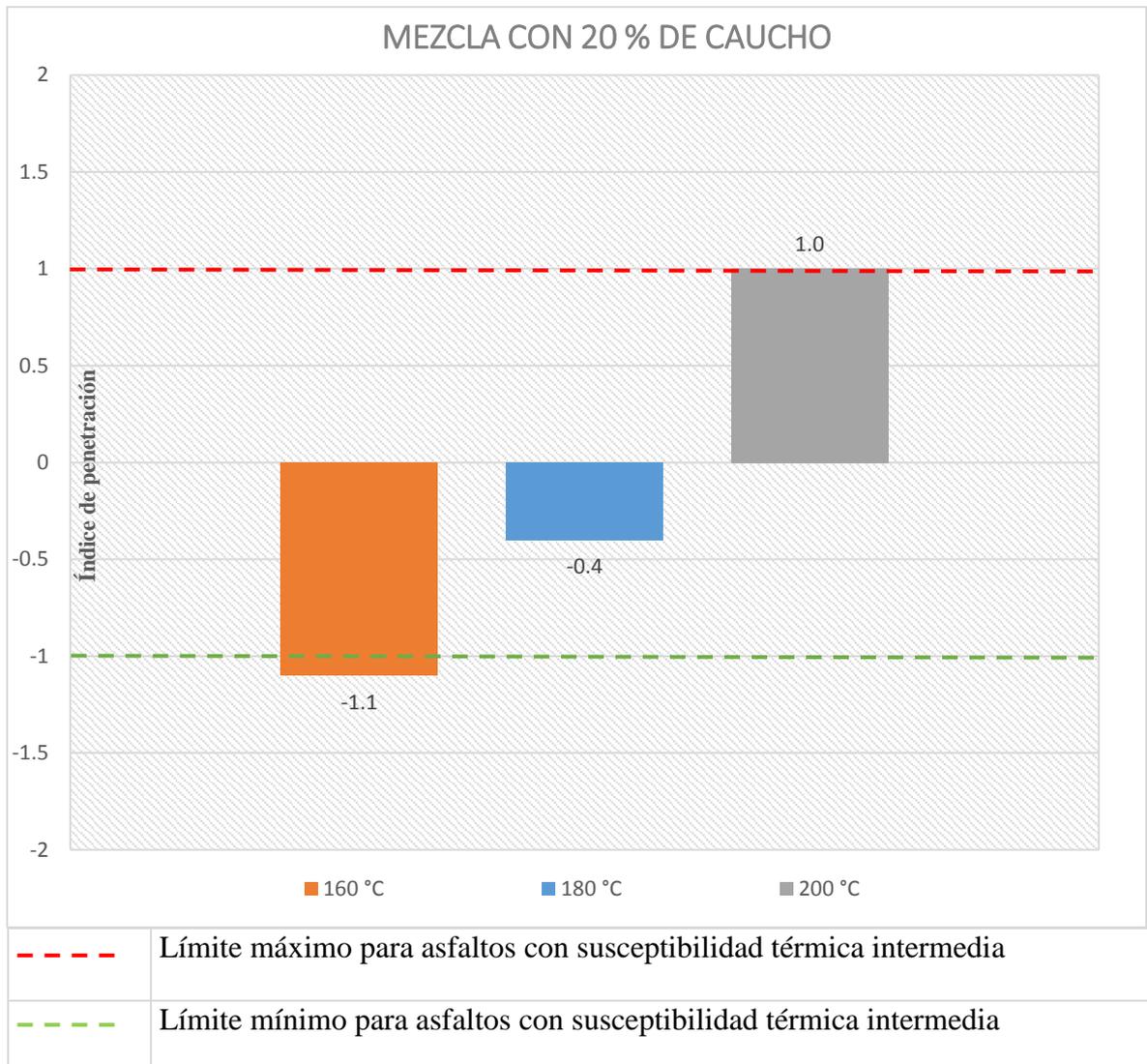
Gráfico N° 21: Índice de penetración de las muestras con adición de 15 % de caucho.



Fuente: *Elaboración propia*

En el gráfico N° 21, se muestra el comportamiento de la muestra con adición de 15 % de caucho de neumáticos reciclados, en sus diferentes temperaturas de producción, en la cual se evidencia una disminución a la susceptibilidad térmica conforme se va incrementando la temperatura de producción; llegando a estar dentro de los asfaltos con susceptibilidad térmica intermedia las tres muestras.

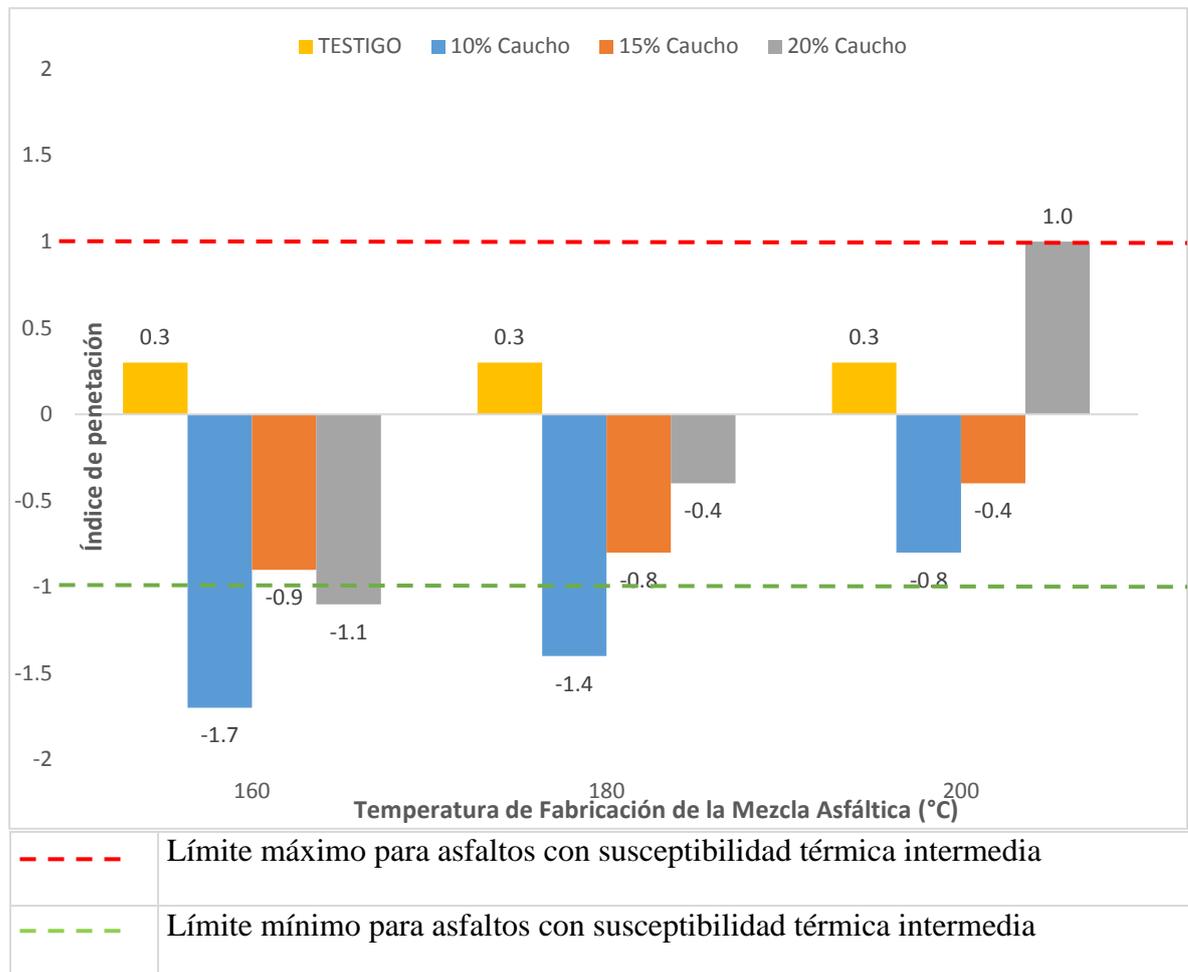
Gráfico N° 22: Índice de penetración de las muestras con adición de 20 % de caucho.



Fuente: Elaboración propia

En el gráfico N° 22, se muestra el comportamiento de la muestra con adición de 20 % de caucho de neumáticos reciclados, con la variación de su temperatura de producción, en la cual se evidencia una disminución a la susceptibilidad térmica conforme se va incrementando la temperatura de producción; dentro de lo cual se observa que la muestra producida a 200 °C, es la que menor susceptibilidad térmica presenta.

Gráfico N° 23: Resumen del índice de penetración de todas las muestras producidas, respecto a la muestra control (testigo).



Fuente: Elaboración propia

Se puede observar en el gráfico N° 23, que la muestra que menor susceptibilidad térmica presenta, en relación a la muestra control (testigo), es la muestra producida a 200 °C con adición de 20 % de caucho de neumáticos reciclados.

3.5 Clasificación de las mezclas producidas

Tabla N° 8: Clasificación de las muestras producidas con adición de caucho de neumáticos reciclados.

Mezcla (Asfalto - Caucho - Azufre)	Penetración (mm)	Punto de ablandamiento (°C)	Índice de penetración	Temperatura de mezclado (°C)
88 % - 10% - 2%	34	51.2	-1.7	160
88 % - 10% - 2%	35	52.2	-1.4	180
88 % - 10% - 2%	38	54.2	-0.8	200
83 % - 15% - 2 %	29	56.2	-0.9	160
83 % - 15% - 2 %	30	56.6	-0.8	180
83 % - 15% - 2 %	32	57.8	-0.4	200
78 % - 20% - 2%	17	60.4	-1.1	160
78 % - 20% - 2%	21	62.4	-0.4	180
78 % - 20% - 2%	26	67.8	1	200
	Asfaltos que no cumplen con las especificaciones técnicas para asfaltos modificados con caucho			
	Asfalto modificado con caucho; tipo I y tipo II			
	Asfalto modificado con caucho; tipo III			
	Asfalto de intermedia susceptibilidad a la temperatura			
	Asfalto de mayor susceptibilidad a la temperatura			

Fuente: Elaboración propia

En la tabla N° 8, se clasificó las muestras de acuerdo con las especificaciones técnicas, para asfaltos modificados con caucho, referente al punto de ablandamiento y penetración, estipulado por el MTC y en relación a la susceptibilidad térmica que presenta cada una de ellas, observando que siete de las nueve mezclas asfálticas con adición de caucho de neumáticos reciclados, cumplen con las especificaciones técnicas para asfaltos modificados con caucho.

3.6 Comparación técnico-económica

Tabla N° 9: Costos de producción de una mezcla asfáltica en caliente, utilizando asfalto PEN 60/70 y asfalto con adición de caucho de neumáticos reciclados.

DESCRIPCIÓN	ASFALTO CONVENCIONAL	ASFALTO MODIFICADO	VARIACIÓN (%)
Precio de la producción de la mezcla total por metro cúbico	S/. 540.97	S/. 434.10	+ 24.62
Ahorro por metro cúbico de producción de mezcla asfáltica	S/. 106.87		

Fuente: Elaboración propia

La tabla N° 9, muestra que la producción de una mezcla asfáltica en caliente utilizando asfalto modificado con adición de 20 % de caucho de neumáticos reciclados, genera un ahorro de 24.62 % por cada metro cúbico de asfalto producido, en relación a utilizar asfalto PEN 60/70 sin modificar.

IV. DISCUSIÓN

Según los resultados obtenidos en la presente investigación, se puede sostener que siete de las nueve mezclas asfálticas experimentales (mezclas asfálticas modificadas) con caucho de neumáticos reciclados, cumplen con las especificaciones técnicas para asfaltos modificados con caucho, estipuladas por el MTC, en el Manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción, EG-2013 – TOMO I; bajo esas premisas queda demostrado que es posible emplear el caucho de neumáticos reciclados en nuestro país, posibilitando con ello el mejoramiento de las condiciones de transitabilidad de nuestra red vial. La adición de caucho mejora considerablemente sus propiedades físico- mecánicas, prolongando así el tiempo de vida útil de las vías, también se ha comprobado, que la aplicación del caucho de neumáticos reciclados en un asfalto es un procedimiento sencillo y que la materia prima es abundante en nuestra región a costo cero, ya que los neumáticos usados son desechados.

Los resultados obtenidos guardan relación con lo obtenido por Pereda y Cubas (2015), en cuanto a la tendencia de que conforme se va adicionando mayor cantidad de caucho al cemento asfáltico se obtiene menor penetración y mayor punto de ablandamiento en relación a la muestra control, pero difieren en cuanto a valores numéricos esto debido a que Pereda y Cubas utilizaron asfalto líquido RC -70.

En la comparación técnico-económica, de la presente investigación resultó que la producción del metro cúbico de asfalto convencional es 24.62 % más que la producción de asfalto modificado, en cuanto Pereda y Cubas (2015), sostienen que el costo del asfalto modificado resulta ser 26.2 % más que el convencional, pero se compensa con la mayor durabilidad de la vía y el menor costo en mantenimiento, esto debido a que en su investigación, realizan su análisis comparativo de costo, aplicando una metodología diferente a lo aplicado en la presente investigación, obviando el análisis de costo unitario, así como la no incorporación del aditivo mejorador de adherencia en el asfalto modificado; motivo por el cual incrementa el precio del asfalto modificado.

Ramírez (2011), obtiene resultados totalmente diferente en relación lo obtenido en esta investigación, no se mantiene la tendencia de que al incrementar la cantidad de caucho y disminuir la temperatura de fabricación de la mezcla, esta se vuelve más rígida en relación a la muestra control. Esto debido a que Ramírez (2011), utiliza caucho con

gránulos de diferentes tamaños (0.60 mm a 0.075mm) motivo por el cual no hay una adecuada interacción entre las partículas del asfalto y caucho, sumado esto a la temperatura de fabricación inferiores a las utilizadas en esta investigación, hace que la mezcla presente vacíos, incrementando así los valores de penetración; indicador que la muestra es más blanda, en relación a la muestra control.

Se puede decir que los resultados obtenidos en esta investigación guardan relación en cuanto a los beneficios que se obtiene al modificar un asfalto, con lo obtenido por Silvestre (2017), ya que sostiene que el precio total de la mezcla asfáltica modificada se disminuye en un 2.63 % con respecto a la mezcla convencional y a su vez añadiéndole mejor comportamiento mecánico.

Llago (2015), en su investigación, sostiene que los factores del caucho de neumáticos reciclados que influyen en las propiedades del ligante asfalto-caucho son la granulometría y la textura, esto es totalmente cierto ya que en esta investigación se pudo apreciar que al utilizar caucho con gránulos finos de entre 0.60 mm – 0.85 mm de diámetro, se observó una mejor interacción entre partículas asfalto-caucho obteniendo una mezcla homogénea sin presencia de vacíos. Esto hace posible que el asfalto impermeabilice al pavimento, evitando así fallas y/o patologías por acción del agua.

Si bien es cierto que según la clasificación realizada se ha obtenido asfaltos modificados con caucho, de tipo I, tipo II y tipo III y ya que el caucho procedente de los neumáticos reciclados es una fuente de recurso interminable, por la constante generación de estos, y de carácter diversificado. La diversidad de mezclas asfalto-caucho que se puede generar, es ajustable al tipo de proyecto en el que se desee utilizar tal como indica Llago (2015).

Los resultados presentados por Castro, Rondón y Barrero (2016), quienes sostienen que el aditivo tiende a rigidizar notablemente el asfalto (incrementa el punto de ablandamiento y disminuye la penetración); lo cual concuerda con los resultados obtenidos en esta investigación, no obstante que el polímero modificador utilizado en ambas investigaciones sea de diferente naturaleza. Castro *et al.* (2016), utilizan como polímero modificador, desecho de polietileno de baja densidad (PEBD), y en esta investigación se utilizó caucho de neumáticos reciclados.

En cuanto a las ventajas obtenidas, al adicionar caucho de neumáticos reciclados en esta investigación, se puede sostener que guardan relación con lo obtenido por Kham, Kabir, Ahussain y Almansoor (2016), quienes afirman que la adición de desechos plásticos, como el polietileno de baja densidad, polietileno de alta densidad y el granulo de caucho para aglutinante limpio, puede jugar un papel importante en mejorar el comportamiento elástico del aglutinante para extender la vida útil de los pavimentos, en términos de reducción de susceptibilidad a altas temperaturas y agrietamiento. Además, el uso de estos desechos reciclados jugará un papel importante en reducir el uso de recursos no renovables, construir pavimentos sostenibles y reducir el impacto ambiental de la eliminación de desechos en los vertederos.

V. CONCLUSIONES

- ✓ La adición de caucho de neumáticos reciclados al asfalto PEN 60/70 en las mismas condiciones de fabricación de la mezclas asfálticas; evidencia que cuanto menor es el porcentaje de caucho existente en la mezcla, el asfalto se vuelve más blando y cuanto mayor el porcentaje de caucho existente en la mezcla, el asfalto se vuelve más rígido.
- ✓ De las mezclas asfálticas producidas para la investigación; se obtuvo que dos no cumplen con las especificaciones técnicas para asfaltos modificados con caucho; que contienen 20 % de caucho, producidas a 160 °C y 180 °C.
- ✓ El comportamiento físico - mecánico del asfalto PEN 60/70, es mejorado con la adición de caucho de neumáticos reciclados; respecto a que disminuye su susceptibilidad térmica, aumenta su cohesión e incrementa su impermeabilidad; garantizando un buen desempeño de la capa de rodadura del pavimento.
- ✓ El proceso de producción de la mezcla asfáltica convencional y modifica con adición de 20 % de caucho, al ser comparado técnico - económica. Se observó que la modificada presenta un 24.62 % menor en costo de producción, teniendo un ahorro de S/. 106.87 por metro cúbico de asfalto producido.
- ✓ La adición de caucho de neumáticos reciclados al asfalto PEN 60/70, presenta como ventajas:

Técnicas, mayor cohesión, lo que permite la impermeabilización del pavimento, capacidad elástica óptima ante la formación de roderas, ahuellamientos, agrietamientos y deformaciones permanentes, disminución de la susceptibilidad térmica, lo que evita el apareamiento de fisuras en el pavimento; económicas, bajo costo de producción; ambientales, se reduce la contaminación por acumulación de neumáticos en desuso.

VI. RECOMENDACIONES

Dirigido a empresas constructoras dedicadas a la pavimentación en el Perú

Se recomienda utilizar las mezclas asfálticas modificadas, con adición de caucho de neumáticos reciclados; para la pavimentación de nuestras carreteras en el Perú, ya que se demostró, que mejoran sus propiedades físico-mecánicas del asfalto, además de disminuir los costos de producción y mantenimiento de las vías asfaltadas.

Dirigido a futuros investigadores en relación al tema investigado

Se recomienda complementar la investigación realizando un ensayo Marshall utilizando una de las mezclas que cumplen con las especificaciones para asfaltos modificados con caucho, así como ensayos HSV (Heavy Simulator Vehicles), es decir simulador de vehículos pesados; el cual permite simular el efecto de los vehículos pesados sobre la carpeta de rodadura, con lo cual se podrá conocer el desempeño de la estructura del pavimento sometida a cargas reales.

Dirigido a las autoridades de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas

Implementar laboratorios especializados en asfalto, para promover y facilitar el desarrollo de futuras investigaciones.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- El Rahman, A. M., EL-Shafie, M., & El Kholy, S. A. (2012). Modification of local asphalt with epoxy resin to be used in pavement. *Egyptian Journal of Petroleum*, 21(2), 139 - 147.
- American Society for Testing and Materials. (2009). Standard Specification for Asphalt-Rubber Binder. *ASTM D6114 / D6114M-09*. West Conshohocken, Estados Unidos.
- American Society for Testing and Materials. (2013). Standard Test Method for Penetration of Bituminous Materials. *ASTM D5 / D5M-13*. West Conshohocken, Estados Unidos.
- American Society for Testing and Materials. (2014). Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates. *ASTM C136 / C136M-14*. West Conshohocken, Estados Unidos.
- American Society for Testing and Materials. (2014). Standard Test Method for Softening Point of Bitumen (Ring-and-Ball Apparatus). *ASTM D36 / D36M-14e1*. West Conshohocken, Estados Unidos.
- Castro, W. A., Rondón, H. A., & Barrero, J. C. (2016). Evaluación de las propiedades reológicas y térmicas de un asfalto convencional y uno modificado con un desecho de PEBD. *Ingeniería*, 21(1), 7-18.
- Instituto Nacional de Vías. (2013). Normas de ensayo de materiales para carreteras . *E-724*. Bogotá, Colombia.
- Kham, I. M., Kabir, S., Alhussain, M. A., & Almansoor, F. F. (2016). Asphalt Design using Recycled Plastic and Crumb-rubber Waste for Sustainable Pavement Construction. *Procedia Engineering*, 145, 1557-1564.
- Llago, R. C. (2015). *Empleo en mezclas asfálticas de caucho recuperado de neumáticos fuera de uso*. Proyecto fin de carrera Ingeniería Técnica Industrial, Especialidad Química Industrial, Universitat Politècnica de València, Valencia, España.

- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2013). *Especificaciones técnicas generales para construcción, EG-2013 TOMO I*. Lima, Perú.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2016). *Manual de ensayo de materiales*. Lima, Perú.
- Montgomery, D. C. (2004). *Diseño y análisis de experimentos* (Segunda ed.). México, D.F., México: Limusa.
- Pereda, D. A., & Cúbas, N. O. (2015). *Investigación de los asfaltos modificados con el uso de caucho reciclado de llantas y su comparación técnico - económico con los asfaltos convencionales*. Tesis para Optar el Título de Ingeniero Civil, Universidad Privada Antenor Orrego, Trujillo, Perú.
- Ramírez, L. M. (2011). *Pavimentos con polímeros reciclados*. Trabajo de grado para optar por el Título de Ingeniera Civil, Escuela de Ingeniería de Antioquia, Envigado, Colombia.
- Ruiz, R. (2007). *El método científico y sus etapas*. México D.F., México.
- Santiago, A. G. (29 de Mayo de 2018). *Prezi*. Obtenido de <https://prezi.com/fviasedob7na/metodo-experimental/>
- Silvestre, D. F. (2017). *Comparación técnica y económica entre las mezclas asfálticas tradicionales y reforzadas con plástico reciclado en la ciudad de Lima - 2017*. Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Civil, Universidad César Vallejo, Lima, Perú.
- Torres, C. (2007). *Orientaciones básicas de metodología de la investigación científica* (Novena ed.). Lima, Perú: Libros y Publicaciones.

ANEXOS

ANEXO N° 01. Ficha técnica del ensayo de caracterización del caucho (análisis granulométrico).

 <p>LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-076</p>	<p>INFORME DE ENSAYO 0247/18 08-05-2018 Pág. 1 de 1</p>	 <p>INACAL DA - Perú Laboratorio de Ensayo Acreditado</p> <p style="font-size: small;">Registro N° LE - 076</p>
--	---	---

Estudio **Obras/Cantera del solicitante**
L.020.18 **Estudio de un asfalto con adición de caucho de neumático reciclado como polímero base, Chachapoyas - Amazonas - 2017**

Descripción del proceso
Caracterización de Caucho

Requisitos y especificaciones del solicitante

Fecha de orden de servicio
21-03-2018

Datos del solicitante

Bach. Fredy Goicochea Fernandez -
Universidad Nacional Toribio Rodríguez de
Mendoza de Amazonas - Facultad de
Ingeniería Civil y Ambiental

Muestra N.º **Ref. solicitante**
A0201/18 **Caucho**

Fecha de recepción
21-03-2018

Muestreo
Responsabilidad del Solicitante

Descripción/Procedencia
Caracterización de Caucho / Proporcionado por el Tesista
Informe

ENSAYO	MÉTODO	RESULTADO [Incertidumbre si aplica]	REPORTE DE ENSAYO N.º
02.01 - Análisis Granulométrico de Agregado Fino y Grueso	ASTM C136/C136M-14	Fracción Retenida en Tamiz N.º4:	2114.18
		T# N.º4 = 100.0%	
		Fracción Pesante en Tamiz N.º4:	
		T# N.º8 = 100.0%	
		T# N.º10 = 99.9%	
		T# N.º16 = 71.1%	
		T# N.º20 = 29.4%	
		T# N.º30 = 13.4%	
		T# N.º40 = 6.4%	
		T# N.º50 = 2.5%	
		T# N.º60 = 1.1%	
		T# N.º80 = 0.3%	
		T# N.º100 = 0.2%	
T# N.º140 = 0.1%			
T# N.º200 = 0.1%			

Observaciones: ---

Anexos: 1 Reporte de Ensayo (1 Página).

Los resultados del presente informe no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Los resultados presentados se refieren únicamente a la muestra ensayada.

La fecha de ejecución de los ensayos se indica en los reportes de ensayo adjuntos que forman parte del presente informe.


MOTA-ENGIL PERU S.A.
 Ing. Martha Torres
 GERENTE AREA TECNICA/JUGEN
 Y SOSTENIBILIDAD

LABORATORIO MEP
Av. Nicolás Aylón 2634 Ate - Lima 3 - Perú
Teléfono: +51 1 414 3570
E-mail: laboratoriomep@mota-engil.pe

LABMEP.670.2

Este informe no puede ser reproducido total o parcialmente sin autorización del Laboratorio MEP

REPORTE DE ENSAYO

Muestra N.º
A0201/18

Reporte N.º
2114.18

Página
1/1

Fecha
28/mar/18

02.01 - Análisis Granulométrico de Agregado Fino y Grueso ASTM C136/C136M-14

Masa Inicial de la Muestra, p_1 (0.1g) = 5005.9 Muestra Seca al Aire
 Masa Retenida en Tamiz No.4 (0.1g) = 0.0 Muestra Seca en Horno (105-110°C)
 Masa Pasante en Tamiz No.4 (0.1g) = 5005.9
 Masa de la muestra después del Lavado, p_2 (0.1g) = 5003.8 Módulo de Fineza = 2.84
 Pérdidas en el Lavado, p_3 (0.1g) = 2.1

FRACCIÓN RETENIDA EN TAMIZ No. 4

Porcentaje de Material Retenido en Tamiz No. 4 (0.1%) = 0.0

Tamiz (Abertura)	Masa Retenida	Parcial Retenido	Acumulado Retenido	Acumulado Pasante
	p_i	$N_i = \frac{p_i}{p_1} \times 100$	N_i'	$N_i'' = 100 - N_i$
(" N.º ") (mm)	(0.1 g)	(0.1 %)	(0.1 %)	(1 % / 0.1 %)
4	4.75	0.0	0.0	100.0

FRACCIÓN PASANTE EN TAMIZ No. 4

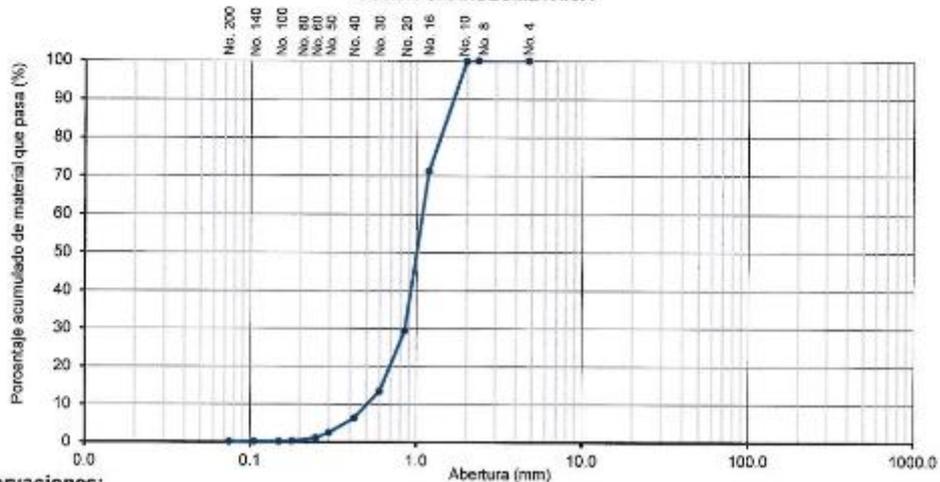
Porcentaje de Material Pasante en Tamiz No.4 (0.1%) = 100.0
Masa a Ensayar (0.01g) = 5005.90

Tamiz (Abertura)	Masa Retenida	Parcial Retenido	Acumulado Retenido	Acumulado Pasante
	p_i	$N_i = \frac{p_i}{p_2} \times 100$	N_i'	$N_i'' = 100 - N_i$
(" N.º ") (mm)	(0.01 g)	(0.1 %)	(0.1 %)	(1 % / 0.1 %)
8	2.360	0.43	0.0	100.0
10	2.000	4.55	0.1	99.9
16	1.180	1439.39	28.8	71.1
20	0.850	2089.66	41.7	29.4
30	0.600	800.10	16.0	13.4
40	0.425	353.23	7.1	6.4
50	0.300	195.47	3.9	2.5
60	0.250	68.27	1.4	1.1
80	0.180	41.78	0.8	0.3
100	0.150	3.45	0.1	0.2
140	0.106	2.71	0.1	0.1
200	0.075	2.26	0.0	0.1

Masa Retenida en el Fondo, p_{200} (0.01g) = 2.46

Material Pasante en el Tamiz No. 200, $p_{200} = p_3 + p_{200}$ (0.01g) = 4.58

CURVA GRANULOMÉTRICA



Observaciones:

Ensayo realizado en material Caucho. En la ejecución del ensayo, fueron añadidos los tamices con malla N.º10, N.º20, N.º40, N.º60, N.º80 y N.º140.

Elaborado por
MOTA-ENGIL PERU S.A.
EDUARDO QUIJPE
LABORATORISTA

Revisado por
MOTA-ENGIL PERU S.A.
Diana Carretero
Jefe de Laboratorio

Este reporte de ensayo sólo es válido si es parte integral de un informe de ensayo emitido por el Laboratorio MEP

ANEXO N° 02. Fichas técnicas de los ensayos de laboratorio aplicados a las muestras producidas.



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO
POR EL ORGANISMO PERUANO DE
ACREDITACIÓN INACAL-DA CON REGISTRO
N° LE-076**

INFORME DE ENSAYO
0248/18
08-05-2018
Pág. 1 de 1



INACAL
DA - Perú
Laboratorio de Ensayo
Acreditado

Registro N° LE - 076

Estudio
L.020.18

Obra/Centera del solicitante
Estudio de un asfalto con adición de caucho de neumático reciclado como polímero base, Chachapoyas – Amazonas – 2017

Descripción del proceso
Caracterización de Cemento Asfáltico Modificado con Caucho

Requisitos y especificaciones del solicitante

Fecha de orden de servicio
21-03-2018

Datos del solicitante

Bach. Fredy Golcochea Fernandez –
Universidad Nacional Toribio Rodríguez
de Mendoza de Amazonas – Facultad de
Ingeniería Civil y Ambiental

Muestra N.º
A0202/18

Ref. solicitante
**Mezcla Asfáltica con
Cemento Asfáltico PEN
60/70 Modificado:**
- **Temperatura 160°C**
- **88% PEN 60/70**
- **10% Caucho**
- **2% Azufre**

Fecha de recepción
21-03-2018

Muestreo
Responsabilidad del Solicitante

Descripción/Procedencia
Caracterización de Cemento Asfáltico Modificado con Caucho / Proporcionado por el Tesista

Informe

ENSAYO	MÉTODO	RESULTADO [Incertidumbre si aplica]	REPORTE DE ENSAYO N.º
03.01 – Penetración de Materiales Bituminosos	ASTM D5/D5M-13	Penetración (p.1 mm) = 34	2116.18
03.02 – Punto de Ablandamiento usando Anillo y Bola (*)	ASTM D36	Temperatura A&B (p.2 °C) = 51.2°C	2117.18

Observaciones: ---

Anexos: 2 Reportes de Ensayo (2 Páginas).

Este informe no puede ser reproducido total o parcialmente sin autorización del Laboratorio MEP

Los resultados del presente informe no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Los resultados presentados se refieren únicamente a la muestra ensayada.

La fecha de ejecución de los ensayos se indica en los reportes de ensayo adjuntos que forman parte del presente informe.

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.


MOTA-ENGL PERU S.A.
Ing. Martha Torres
 GERENTE AREA TECNICA, MANEJO
 Y SOSTENIBILIDAD

LABORATORIO MEP
Av. Nicolás Ayllón 2034 Ate – Lima 3 – Perú
Teléfono: +51 1 414 3570
E-mail: laboratorio@motrengil.pe

LABMEP.670.2

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-076
 MOTRENGIL PERU S.A. - RUC: 20509001203
 Av. Nicolás Ayllón 2034 Ate - Lima 3 - Perú
 Teléfono: +51 1 414 3570
 E-mail: laboratorio@motrengil.pe
 LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-076



REPORTE DE ENSAYO

Muestra N.º
A0202/18

Reporte N.º
2116.18

Página
1/1

Fecha
7/may/18

03.01 - Penetración de Materiales Bituminosos
ASTM D5/D5M-13

CONDICIONES DE ENSAYO

Temperatura de Ensayo	°C	25
Carga Total	g	100
Tiempo de Ensayo	s	5

ENSAYO

Determinación	1	2	3	Promedio
Penetración (mm)	3.40	3.36	3.39	3
Penetración (x0.1 mm)	34	34	34	34

Este reporte de ensayo solo es valido si es parte integral de un informe de ensayo emitido por el Laboratorio MIEP

Observaciones:

Temperatura de Mezcla: 160°C. Mezcla Asfáltica con 10% de Caucho.

Elaborado por

MOTA-ENGIL PERU S.A.

EDUARDO QUISPE
LABORATORISTA

Revisado por

MOTA-ENGIL PERU S.A.

David Sandoval
Jefe de Laboratorio



REPORTE DE ENSAYO

Muestra N.º
A0202/18

Reporte N.º
2117.18

Página
1/1

Fecha
07/may/18

03.02 - Punto de Ablandamiento usando Anillo y Bola
ASTM D36

CONDICIONES DEL ENSAYO

Temperatura inicial del ensayo	°C	5
Tipo de Baño		Agua destilada

Determinación	1	2	Promedio
Temperatura A&B (0.2 °C)	51.1	51.4	51.2
Temperatura A&B (0.5 °C)	-	-	-

Este reporte de ensayo sólo es válido si es parte integral de un informe de ensayo emitido por el Laboratorio MEP

Observaciones:

Temperatura de Mezcla: 160°C. Mezcla Asfáltica con 10% de Caucho.

Elaborado por

MOTA-ENGL PERU S.A.

EDUARDO QUISPE
LABORATORISTA

Revisado por

MOTA-ENGL PERU S.A.

David Sánchez
Jefe de Laboratorio

LABREP-301.1



Estudio: **L.020.18** Obra/Centera del solicitante
Estudio de un asfalto con adición de caucho de neumático reciclado como polímero base, Chachapoyas - Amazonas - 2017

Descripción del proceso
Caracterización de Cemento Asfáltico Modificado con Caucho

Datos del solicitante

Requisitos y especificaciones del solicitante

Fecha de orden de servicio
21-03-2018

Bach. Fredy Goicochea Fernandez -
Universidad Nacional Toribio Rodríguez
de Mendoza de Amazonas - Facultad de
Ingeniería Civil y Ambiental

Muestra N.º **A0203/18** Ref. solicitante
**Mezcla Asfáltica con
Cemento Asfáltico PEN
60/70 Modificado:**
- Temperatura 160°C
- 83% PEN 60/70
- 15% Caucho
- 2% Azufre

Fecha de recepción
21-03-2018

Muestreo
Responsabilidad del Solicitante

Descripción/Procedencia
Caracterización de Cemento Asfáltico Modificado con Caucho / Proporcionado por el Tesista
Informe

ENSAYO	MÉTODO	RESULTADO [Incertidumbre si aplica]	REPORTE DE ENSAYO N.º
03.01 - Penetración de Materiales Bituminosos	ASTM D5/D5M-13	Penetración $\gamma(0.1 \text{ mm}) = 29$	2119.18
03.02 - Punto de Ablandamiento usando Anillo y Bola (*)	ASTM D36	Temperatura A&B $(p.2^\circ\text{C}) = 56.2^\circ\text{C}$	2120.18

Observaciones: ---

Anexos: 2 Reportes de Ensayo (2 Páginas).

Este informe no puede ser reproducido total o parcialmente sin autorización del Laboratorio MEP

Los resultados del presente informe no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Los resultados presentados se refieren únicamente a la muestra ensayada.

La fecha de ejecución de los ensayos se indica en los reportes de ensayo adjuntos que forman parte del presente informe.

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

LABORATORIO MEP
Av. Nicolás Aylón 2634 Ate - Lima 3 - Perú
Teléfono: +51 1 414 3570
E-mail: laboratorio@meta-engil.pe

MOTA-ENGIL PERU S.A.
Ing. Martina Torres
GERENTE AREA TÉCNICA IMAGEN
Y SOSTENIBILIDAD

LABMEP.670.2

LABMEP.670.2

**REPORTE DE ENSAYO**Muestra N.º
A0203/18Reporte N.º
2119.18Página
1/1Fecha
7/may/1803.01 - Penetración de Materiales Bituminosos
ASTM D5/D5M-13**CONDICIONES DE ENSAYO**

Temperatura de Ensayo	°C	25
Carga Total	g	100
Tiempo de Ensayo	s	5

ENSAYO

Determinación	1	2	3	Promedio
Penetración (mm)	2.84	2.86	2.86	3
Penetración (x0.1 mm)	28	29	29	29

Este reporte de ensayo sólo es válido si es parte integral de un informe de ensayo emitido por el Laboratorio MEP

Observaciones:

Temperatura de Mezcla: 160°C. Mezcla Asfáltica con 15% de Caucho.

Elaborado por

MOTA-ENGIL PERU S.A.

EDUARDO QUISPE
LABORATORISTA

Revisado por

MOTA-ENGIL PERU S.A.

OSWALDO CARRERA
Jefe de Laboratorio

LAB-MEP-380-4



REPORTE DE ENSAYO

Muestra N.º
A0203/18

Reporte N.º
2120.18

Página
1/1

Fecha
07/may/18

03.02 - Punto de Ablandamiento usando Anillo y Bola
ASTM D36

CONDICIONES DEL ENSAYO

Temperatura inicial del ensayo °C	4.6
Tipo de Baño	Agua destilada

Determinación	1	2	Promedio
Temperatura A&B (0.2 °C)	56.2	56.3	56.2
Temperatura A&B (0.5 °C)	-	-	-

Este reporte de ensayo sólo es válido si es parte integral de un informe de ensayo emitido por el Laboratorio MEP.

Observaciones:

Temperatura de Mezcla: 160°C. Mezcla Asfáltica con 15% de Caucho.

Elaborado por

MOTA-ENGIL PERU S.A.

EDUARDO QUISPE
LABORATORISTA

Revisado por

MOTA-ENGIL PERU S.A.

David Canales
Jefe de Laboratorio

LABMEP-36-1



Estudio
L.020.18 Obra/Cantera del solicitante
Estudio de un asfalto con adición de caucho de neumático reciclado como polímero base, Chachapoyas - Amazonas - 2017

Descripción del proceso
Caracterización de Cemento Asfáltico Modificado con Caucho

Datos del solicitante

Requisitos y especificaciones del solicitante

Fecha de orden de servicio
21-03-2018

Bach. Fredy Goicochea Fernandez -
Universidad Nacional Toribio Rodríguez
de Mendoza de Amazonas - Facultad de
Ingeniería Civil y Ambiental

Muestra N.º

A0204/18

Ref. solicitante

**Mezcla Asfáltica con
Cemento Asfáltico PEN
60/70 Modificado:**
- Temperatura 160°C
- 78% PEN 60/70
- 20% Caucho
- 2% Azufre

Fecha de recepción

21-03-2018

Muestreo
Responsabilidad del Solicitante

Descripción/Procedencia
Caracterización de Cemento Asfáltico Modificado con Caucho / Proporcionado por el Tesista

Informe

ENSAYO	MÉTODO	RESULTADO [Incertidumbre si aplica]	REPORTE DE ENSAYO N.º
03.01 - Penetración de Materiales Bituminosos	ASTM D5/D5M-13	Penetración [0.1mm] = 17	2122.18
03.02 - Punto de Ablandamiento usando Anillo y Bola (*)	ASTM D36	Temperatura A&B @2°C = 60.4°C	2123.18

Observaciones: ---

Anexos: 2 Reportes de Ensayo (2 Páginas).

Este informe no puede ser reproducido total o parcialmente sin autorización del Laboratorio MEP

Los resultados del presente informe no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Los resultados presentados se refieren únicamente a la muestra ensayada.

La fecha de ejecución de los ensayos se indica en los reportes de ensayo adjuntos que forman parte del presente informe.

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

LABORATORIO MEP
Av. Nicolás Aylón 2634 Ato - Lima 3 - Perú
Teléfono: +51 1 414 3570
E-mail: laboratoriomep@mota-engil.pe

LABMEP.670.2


MOTA-ENGIL PERU S.A.
Ing. Martha Torres
GERENTE AREA TECNICA/IMAGEN
Y SOSTENIBILIDAD

**REPORTE DE ENSAYO**Muestra N.º
A0204/18Reporte N.º
2122.18Página
1/1Fecha
7/may/1803.01 - Penetración de Materiales Bituminosos
ASTM D5/D5M-13**CONDICIONES DE ENSAYO**

Temperatura de Ensayo	°C	25
Carga Total	g	100
Tiempo de Ensayo	s	5

ENSAYO

Determinación	1	2	3	Promedio
Penetración (mm)	1.66	1.68	1.66	2
Penetración (x0.1 mm)	17	17	17	17

Este reporte de ensayo sólo es válido si es parte integral de un informe de ensayo emitido por el Laboratorio MEP

Observaciones:

Temperatura de Mezcla: 160°C. Mezcla Asfáltica con 20% de Caucho.

Elaborado por

MOTA-ENGIL PERU S.A.

EDUARDO QUISPE
LABORATORISTA

Revisado por

MOTA-ENGIL PERU S.A.

GONZALO CASTELLAS
Jefe de Laboratorio

LMEP 300.4

REPORTE DE ENSAYO

Muestra N.º
A0204/18

Reporte N.º
2123.18

Página
1/1

Fecha
07/may/18

03.02 - Punto de Ablandamiento usando Anillo y Bola
ASTM D36

CONDICIONES DEL ENSAYO

Temperatura inicial del ensayo	°C	4.9
Tipo de Baño		Agua destilada

Determinación	1	2	Promedio
Temperatura A&B (0.2 °C)	60.0	61.0	60.4
Temperatura A&B (0.5 °C)	-	-	-

Este reporte de ensayo sólo es válido si es parte integral de un informe de ensayo emitido por el Laboratorio MIEP

Observaciones:

Temperatura de Mezcla: 160°C. Mezcla Asfáltica con 20% de Caucho.

Elaborado por

MOTA-ENGL PERU S.A.

.....
EDUARDO QUISPE
LABORATORISTA

Revisado por

MOTA-ENGL PERU S.A.

.....
Diana González
Jefe de Laboratorio



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO
POR EL ORGANISMO PERUANO DE
ACREDITACIÓN INACAL-DA CON REGISTRO
N° LE-076

INFORME DE ENSAYO

0251/18
08-05-2018
Pág. 1 de 1



Estudio
L.020.18 Obra/Cantera del solicitante
Estudio de un asfalto con adición de caucho de neumático reciclado como polímero base, Chachapoyas – Amazonas – 2017

Descripción del proceso
Caracterización de Cemento Asfáltico Modificado con Caucho

Datos del solicitante

Bach. Fredy Goicochea Fernandez –
Universidad Nacional Toribio Rodríguez
de Mendoza de Amazonas – Facultad de
Ingeniería Civil y Ambiental

Requisitos y especificaciones del solicitante

Fecha de orden de servicio
21-03-2018

Muestra N.º Ref. solicitante Fecha de recepción
**A0205/18 Mezcla Asfáltica con
Cemento Asfáltico PEN
60/70 Modificado:**
- Temperatura 180°C
- 88% PEN 60/70
- 10% Caucho
- 2% Azufre

Muestreo
Responsabilidad del Solicitante

Descripción/Procedencia
Caracterización de Cemento Asfáltico Modificado con Caucho / Proporcionado por el Tesista

ENSAYO	MÉTODO	RESULTADO [Incertidumbre si aplica]	REPORTE DE ENSAYO N.º
03.01 – Penetración de Materiales Bituminosos	ASTM D5/D5M-13	Penetración $_{(0.1mm)} = 35$	2125.18
03.02 – Punto de Ablandamiento usando Anillo y Bola (*)	ASTM D36	Temperatura A&B $_{(0.1°C)} = 52.2°C$	2126.18

Observaciones: ---

Anexos: 2 Reportes de Ensayo (2 Páginas).

Este informe no puede ser reproducido total o parcialmente sin autorización del Laboratorio MEP

Los resultados del presente informe no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Los resultados presentados se refieren únicamente a la muestra ensayada.

La fecha de ejecución de los ensayos se indica en los reportes de ensayo adjuntos que forman parte del presente informe.

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

MOTA-ENGIL PERU S.A.
Ing. Martha Torres
GERENTE AREA TECNICA INACAL
Y SOSTENIBILIDAD

LABORATORIO MEP
Av. Nicolás Aylón 2634 Ate – Lima 3 - Perú
Teléfono: +51 1 414 3570
E-mail: laboratoriomep@mota-engil.pe

LABMEP.670.2

LABMEP.670.2



REPORTE DE ENSAYO

Muestra N.º
A0205/18

Reporte N.º
2125.18

Página
1/1

Fecha
7/may/18

03.01 - Penetración de Materiales Bituminosos
ASTM D5/D5M-13

CONDICIONES DE ENSAYO

Temperatura de Ensayo	°C	25
Carga Total	g	100
Tiempo de Ensayo	s	5

ENSAYO

Determinación	1	2	3	Promedio
Penetración (mm)	3.53	3.52	3.50	4
Penetración (x0.1 mm)	35	35	35	35

Este reporte de ensayo sólo es válido si es parte integral de un informe de ensayo emitido por el Laboratorio MEP

Observaciones:

Temperatura de Mezcla: 180°C. Mezcla Asfáltica con 10% de Caucho.

LABMEP-362.4

Elaborado por
 MOTA-ENGIL PERU S.A.
 EDUARDO QUISPE
 LABORATORISTA

Revisado por
 MOTA-ENGIL PERU S.A.
 David Samblas
 Jefe de Laboratorio

REPORTE DE ENSAYO

Muestra N.º
A0205/18

Reporte N.º
2126.18

Página
1/1

Fecha
07/may/18

03.02 - Punto de Ablandamiento usando Anillo y Bola
ASTM D36

CONDICIONES DEL ENSAYO

Temperatura inicial del ensayo	°C	4.2
Tipo de Baño		Agua destilada

Determinación	1	2	Promedio
Temperatura A&B (0.2 °C)	52.2	52.2	52.2
Temperatura A&B (0.5 °C)	-	-	-

Este reporte de ensayo sólo es válido si es parte integral de un informe de ensayo emitido por el Laboratorio MIEP

Observaciones:

Temperatura de Mezcla: 180°C. Mezcla Asfáltica con 10% de Caucho.

Elaborado por

 MOTA-ENCIL PERU S.A.
 EDUARDO QUISPE
 LABORATORISTA

Revisado por

 MOTA-ENCIL PERU S.A.
 Pablo Quispe
 Jefe de Laboratorio



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO
POR EL ORGANISMO PERUANO DE
ACREDITACIÓN INACAL-DA CON REGISTRO
N° LE-076

INFORME DE ENSAYO

0252/18
08-05-2018
Pág. 1 de 1



Estudio
L.020.18 Obra/Cantera del solicitante
Estudio de un asfalto con adición de caucho de neumático reciclado como polímero base, Chachapoyas – Amazonas – 2017

Descripción del proceso
Caracterización de Cemento Asfáltico Modificado con Caucho

Requisitos y especificaciones del solicitante

Fecha de orden de servicio
21-03-2018

Datos del solicitante

Bach. Fredy Goicochea Fernandez –
Universidad Nacional Toribio Rodríguez
de Mendoza de Amazonas – Facultad de
Ingeniería Civil y Ambiental

Muestra N.º

A0206/18

Ref. solicitante

**Mezcla Asfáltica con
Cemento Asfáltico PEN
60/70 Modificado:
- Temperatura 180°C
- 83% PEN 60/70
- 15% Caucho
- 2% Azufre**

Fecha de recepción

21-03-2018

Muestras

Responsabilidad del Solicitante

Descripción/Procedencia

Caracterización de Cemento Asfáltico Modificado con Caucho / Proporcionado por el Tesista

Informe

ENSAYO	MÉTODO	RESULTADO [Incertidumbre si aplica]	REPORTE DE ENSAYO N.º
03.01 – Penetración de Materiales Bituminosos	ASTM D5/D5M-13	Penetración (0.1 mm) = 30	2128.18
03.02 – Punto de Ablandamiento usando Anillo y Bola (*)	ASTM D36	Temperatura A&B (0.2 °C) = 56.6°C	2129.18

Observaciones: ---

Anexos: 2 Reportes de Ensayo (2 Páginas).

Este informe no puede ser reproducido total o parcialmente sin autorización del Laboratorio MEP

Los resultados del presente informe no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Los resultados presentados se refieren únicamente a la muestra ensayada.

La fecha de ejecución de los ensayos se indica en los reportes de ensayo adjuntos que forman parte del presente informe.

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

MOTA-ENGIL PERU S.A.
Ing. Mariha Torres
GERENTE AREA TECNICA IMAGEN
Y SOSTENIBILIDAD

LABORATORIO MEP
Av. Nicolás Ayllón 2634 Ate - Lima 3 - Perú
Teléfono: +51 1 414 3570
E-mail: laboratoriomep@mota-engil.pe

LABMEP.570.2

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-076

**REPORTE DE ENSAYO**Muestra N.º
A0206/18Reporte N.º
2128.18Página
1/1Fecha
7/may/1803.01 - Penetración de Materiales Bituminosos
ASTM D5/D5M-13**CONDICIONES DE ENSAYO**

Temperatura de Ensayo	°C	25
Carga Total	g	100
Tiempo de Ensayo	s	5

ENSAYO

Determinación	1	2	3	Promedio
Penetración (mm)	2.96	2.98	2.99	3
Penetración (x0.1 mm)	30	30	30	30

Este reporte de ensayo sólo es válido si es parte integral de un informe de ensayo emitido por el Laboratorio MEP

Observaciones:

Temperatura de Mezcla: 180°C. Mezcla Asfáltica con 15% de Caucho.

Elaborado por

MOTA-ENGIL PERU S.A.

EDUARDO QUISPE
LABORATORISTA**Revisado por**

MOTA-ENGIL PERU S.A.

REVISTA GOMEZAS
Jefe de Laboratorio

LABREP-300-4

03.02 - Punto de Ablandamiento usando Anillo y Bola
ASTM D36

CONDICIONES DEL ENSAYO

Temperatura inicial del ensayo	°C	5.6
Tipo de Baño		Agua destilada

Determinación	1	2	Promedio
Temperatura A&B (0.2 °C)	56.5	56.7	56.6
Temperatura A&B (0.5 °C)	-	-	-

Este reporte de ensayo solo es valido si es parte integral de un informe de ensayo emitido por el Laboratorio MEP

Observaciones:

Temperatura de Mezcla: 180°C. Mezcla Asfáltica con 15% de Caucho.

Elaborado por

MOTA-ENGL PERU S.A.

EDUARDA QUISPE
LABORATORISTA

Revisado por

MOTA-ENGL PERU S.A.

David Sanchez
Jefe de Laboratorio



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO
POR EL ORGANISMO PERUANO DE
ACREDITACIÓN INACAL-DA CON REGISTRO
N° LE-076

INFORME DE ENSAYO

0253/18
08-05-2018
Pág. 1 de 1



Estado: **L.020.18** Obra/Centers del solicitante: **Estudio de un asfalto con adición de caucho de neumático reciclado como polímero base, Chachapoyas - Amazonas - 2017**

Descripción del proceso: **Caracterización de Cemento Asfáltico Modificado con Caucho**

Requisitos y especificaciones del solicitante: ---

Fecha de orden de servicio: **21-03-2018**

Datos del solicitante

Bach. Fredy Goicochea Fernandez -
Universidad Nacional Toribio Rodriguez
de Mendoza de Amazonas - Facultad de
Ingeniería Civil y Ambiental

Muestra N.º: **A0207/18** Ref. solicitante: **Mezcla Asfáltica con Cemento Asfáltico PEN 60/70 Modificado:**
- **Temperatura 180°C**
- **78% PEN 60/70**
- **20% Caucho**
- **2% Azufre**

Fecha de recepción: **21-03-2018**

Muestreo: **Responsabilidad del Solicitante**

Descripción/Procedencia: **Caracterización de Cemento Asfáltico Modificado con Caucho / Proporciónado por el Tesista**

Informe

ENSAYO	MÉTODO	RESULTADO [Incertidumbre si aplica]	REPORTE DE ENSAYO N.º
03.01 - Penetración de Materiales Bituminosos	ASTM D5/D5M-13	Penetración $\phi 0.1 \text{ mm}$ = 21	2131.18
03.02 - Punto de Ablandamiento usando Anillo y Bola (*)	ASTM D36	Temperatura A&B $\phi 2.54$ = 62.4°C	2132.18

Observaciones: ---

Anexos: 2 Reportes de Ensayo (2 Páginas).

Este informe no puede ser reproducido total o parcialmente sin autorización del Laboratorio MEP

Los resultados del presente informe no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Los resultados presentados se refieren únicamente a la muestra ensayada.

La fecha de ejecución de los ensayos se indica en los reportes de ensayo adjuntos que forman parte del presente informe.

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

MOTA-ENGIL-PERU S.A.
Ing. Martha TORRES
GERENTE AREA TECNICA/INAGER
13057000000

LABORATORIO MEP
Av. Nicolás Aylón 2534 Ate - Lima 3 - Perú
Teléfono: +51 1 414 3570
E-mail: laboratorio@mot-engil.pe

LABMEP.670.2

LABMEP.670.2

**REPORTE DE ENSAYO**Muestra N.º
A0207/18Reporte N.º
2131.18Página
1/1Fecha
7/may/1803.01 - Penetración de Materiales Bituminosos
ASTM D5/D5M-13**CONDICIONES DE ENSAYO**

Temperatura de Ensayo	°C	25
Carga Total	g	100
Tiempo de Ensayo	s	5

ENSAYO

Determinación	1	2	3	Promedio
Penetración (mm)	2.11	2.14	2.14	2
Penetración (x0.1 mm)	21	21	21	21

Este reporte de ensayo sólo es válido si es parte integral de un informe de ensayo emitido por el Laboratorio MEP

Observaciones:

Temperatura de Mezcla: 180°C. Mezcla Asfáltica con 20% de Caucho.

Elaborado por

MOTA-ENGL PERU S.A.

EDUARDO QUISPE
LABORATORISTA

Revisado por

MOTA-ENGL PERU S.A.

David Canelas
Jefe de Laboratorio

LMEP-360.4



REPORTE DE ENSAYO

Muestra N.º
A0207/18

Reporte N.º
2132.18

Página
1/1

Fecha
07/may/18

03.02 - Punto de Ablandamiento usando Anillo y Bola
ASTM D36

CONDICIONES DEL ENSAYO

Temperatura inicial del ensayo	°C	5.1
Tipo de Baño		Agua destilada

Determinación	1	2	Promedio
Temperatura A&B (0.2 °C)	62.5	62.5	62.4
Temperatura A&B (0.5 °C)	-	-	-

Este reporte de ensayo sólo es válido si es parte integral de un informe de ensayo emitido por el Laboratorio MEF

Observaciones:

Temperatura de Mezcla: 180°C. Mezcla Asfáltica con 20% de Caucho.

Elaborado por

MOTA-ENGIL PERU S.A.

EDUARDO QUISPE
LABORATORISTA

Revisado por

MOTA-ENGIL PERU S.A.

DAVID QUILLES
Jefe de Laboratorio

LABMESP 301.1



Estudio **L.020.18** Obra/Cantera del solicitante
Estudio de un asfalto con adición de caucho de neumático reciclado como polímero base, Chachapoyas – Amazonas – 2017

Descripción del proceso
Caracterización de Cemento Asfáltico Modificado con Caucho

Datos del solicitante

Registros y especificaciones del solicitante

Fecha de orden de servicio
21-03-2018

Bach. Fredy Goicochea Fernandez –
Universidad Nacional Toribio Rodríguez
de Mendoza de Amazonas – Facultad de
Ingeniería Civil y Ambiental

Muestra N.º
A0208/18

Ref. solicitante
**Mezcla Asfáltica con
Cemento Asfáltico PEN
60/70 Modificado:**
- Temperatura 200°C
- 88% PEN 60/70
- 10% Caucho
- 2% Azufre

Fecha de recepción
21-03-2018

Muestra
Responsabilidad del Solicitante

Descripción/Procedencia
Caracterización de Cemento Asfáltico Modificado con Caucho / Proporcionado por el Tesista

ENSAYO	MÉTODO	RESULTADO [Incertidumbre si aplica]	REPORTE DE ENSAYO N.º
03.01 – Penetración de Materiales Bituminosos	ASTM D5/D5M-13	Penetración $p_{0.1 mm} = 38$	2134.18
03.02 – Punto de Ablandamiento usando Anillo y Bola (*)	ASTM D36	Temperatura A&B $(0.2 ^\circ C) = 54.2^\circ C$	2135.18

Observaciones: ---

Anexos: 2 Reportes de Ensayo (2 Páginas).

Este informe no puede ser reproducido total o parcialmente sin autorización del Laboratorio MEP

Los resultados del presente informe no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Los resultados presentados se refieren únicamente a la muestra ensayada.

La fecha de ejecución de los ensayos se indica en los reportes de ensayo adjuntos que forman parte del presente informe.

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

LABORATORIO MEP
Av. Nicolás Aylón 2634 Ate – Lima 3 - Perú
Teléfono: +51 : 414 3570
E-mail: laboratorio@mot-engil.pe

LARMEP.670.2

MOTA-ENGIL PERU S.A.
Ing. Martha Torres
GERENTE AREA TECNICA INGENIERIA
Y SISTEMAS, S.P.A.



REPORTE DE ENSAYO

Muestra N.º
A208/18

Reporte N.º
2134.18

Página
1/1

Fecha
7/may/18

03.01 - Penetración de Materiales Bituminosos
ASTM D5/D5M-13

CONDICIONES DE ENSAYO

Temperatura de Ensayo	°C	25
Carga Total	g	100
Tiempo de Ensayo	s	5

ENSAYO

Determinación	1	2	3	Promedio
Penetración (mm)	3.84	3.82	3.84	4
Penetración (x0.1 mm)	38	38	38	38

Este reporte de ensayo sólo es válido si es parte integral de un informe de ensayo emitido por el Laboratorio MEP

Observaciones:

Temperatura de Mezcla: 200°C. Mezcla Asfáltica con 10% de Caucho.

Elaborado por
MOTA-ENGIL PERU S.A.
.....
EDUARDO QUISPE
LABORATORISTA

Revisado por
MOTA-ENGIL PERU S.A.
.....
David Candelas
Jefe de Laboratorio

LABMEP-350.4

**REPORTE DE ENSAYO**Muestra N.º
A0208/18Reporte N.º
3135.18Página
1/1Fecha
07/may/1803.02 - Punto de Ablandamiento usando Anillo y Bola
ASTM D36**CONDICIONES DEL ENSAYO**

Temperatura inicial del ensayo °C	4.8
Tipo de Baño	Agua destilada

Determinación	1	2	Promedio
Temperatura A&B (0.2 °C)	54.2	54.2	54.2
Temperatura A&B (0.5 °C)	-	-	-

Este reporte de ensayo sólo es válido si es parte integral de un informe de ensayo emitido por el Laboratorio MEP.

Observaciones:

Temperatura de Mezcla: 200°C. Mezcla Asfáltica con 10% de Caucho.

Elaborado por

MOTA-ENGIL PERU S.A.

EDUARDO QUISPE
LABORATORISTA

Revisado por

MOTA-ENGIL PERU S.A.

David M. Melias
Jefe de Laboratorio

LABMEP-361



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO
POR EL ORGANISMO PERUANO DE
ACREDITACIÓN INACAL-DA CON REGISTRO
N° LE-076

INFORME DE ENSAYO

0255/18
08-05-2018
Pág. 1 de 1



Registro N° LE - 076

Estudio: **L.020.18** Obra/Cantera del solicitante: **Estudio de un asfalto con adición de caucho de neumático reciclado como polímero base, Chachapoyas - Amazonas - 2017**

Descripción del proceso: **Caracterización de Cemento Asfáltico Modificado con Caucho**

Detalles del solicitante

Requisitos y especificaciones del solicitante: ---

Fecha de orden de servicio: **21-03-2018**

Bach. Fredy Golcochea Fernandez -
Universidad Nacional Toribio Rodríguez
de Mendoza de Amazonas - Facultad de
Ingeniería Civil y Ambiental

Muestra N.º: **A0209/18** Ref. solicitante: **Mezcla Asfáltica con Cemento Asfáltico PEN 60/70 Modificado:**
- Temperatura 200°C
- 83% PEN 60/70
- 15% Caucho
- 2% Azufre

Fecha de recepción: **21-03-2018**

Muestreo: **Responsabilidad del Solicitante**

Descripción/Presidencia: **Caracterización de Cemento Asfáltico Modificado con Caucho / Proporcionado por el Tesista**

Informe

ENSAYO	MÉTODO	RESULTADO [Incertidumbre si aplica]	REPORTE DE ENSAYO N.º
03.01 - Penetración de Materiales Bituminosos	ASTM D5/D5M-13	Penetración (a 0.1 mm) = 32	2137.18
03.02 - Punto de Ablandamiento usando Anillo y Bola (*)	ASTM D36	Temperatura A&B (a 2 mm) = 57.8°C	2138.18

Observaciones: ---

Anexos: 2 Reportes de Ensayo (2 Páginas).

Este informe no puede ser reproducido total o parcialmente sin autorización del Laboratorio MEP

Los resultados del presente informe no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Los resultados presentados se refieren únicamente a la muestra ensayada.

La fecha de ejecución de los ensayos se indica en los reportes de ensayo adjuntos que forman parte del presente informe.

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

LABORATORIO MEP
Av. Nicolás Aylón 2634 Ate - Lima 3 - Perú
Teléfono: +51 1 414 3570
E-mail: laboratorio MEP@mota-engl.pe

LABMEP.670.2

MOTA-ENGL-PERU S.A.
Ing. Martha Torres
GERENTE AREA TECNICA, BIAGEN
Y SUSTENTABILIDAD

**REPORTE DE ENSAYO**Muestra N.º
A209/18Reporte N.º
2137.18Página
1/1Fecha
7/may/1803.01 - Penetración de Materiales Bituminosos
ASTM D5/D5M-13**CONDICIONES DE ENSAYO**

Temperatura de Ensayo	°C	25
Carga Total	g	100
Tiempo de Ensayo	s	5

ENSAYO

Determinación	1	2	3	Promedio
Penetración (mm)	3.19	3.16	3.17	3
Penetración (x0.1 mm)	32	32	32	32

Este reporte de ensayo solo es válido si es parte integral de un informe de ensayo emitido por el Laboratorio MIEP

Observaciones:

Temperatura de Mezcla: 200°C. Mezcla Asfáltica con 15% de Caucho.

Elaborado por

MOTA-ENGIL PERU S.A.

EDUARDO QUISPE
LABORATORISTA

Revisado por

MOTA-ENGIL PERU S.A.

Cristina Encinas
Jefe de Laboratorio



REPORTE DE ENSAYO

Muestra N.º
A0209/18

Reporte N.º
2138.18

Página
1/1

Fecha
07/may/18

03.02 - Punto de Ablandamiento usando Anillo y Bola
ASTM D36

CONDICIONES DEL ENSAYO

Temperatura inicial del ensayo °C	5.2
Tipo de Baño	Agua destilada

Determinación	1	2	Promedio
Temperatura A&B (0.2 °C)	57.8	57.9	57.8
Temperatura A&B (0.5 °C)	-	-	-

Este reporte de ensayo sólo es válido si es parte integral de un informe de ensayo emitido por el Laboratorio MEP

Observaciones:

Temperatura de Mezcla: 200°C. Mezcla Asfáltica con 15% de Caucho.

Elaborado por
MOTA-ENGIL PERU S.A.
EDUARDO QUISPE
LABORATORISTA

Revisado por
MOTA-ENGIL PERU S.A.
David C. Angeles
Jefe de Laboratorio

LABMEP-35/1



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO
POR EL ORGANISMO PERUANO DE
ACREDITACIÓN INACAL-DA CON REGISTRO
N° LE-076

INFORME DE ENSAYO

0256/18
08-05-2018
Pág. 1 de 1



Estudio
L.020.18 Obra/Cantera del solicitante
Estudio de un asfalto con adición de caucho de neumático reciclado como polímero base, Chachapoyas - Amazonas - 2017

Descripción del proceso
Caracterización de Cemento Asfáltico Modificado con Caucho

Requisitos y especificaciones del solicitante
--- Fecha de orden de servicio
21-03-2018

Datos del solicitante
Bach. Fredy Goicochea Fernandez -
Universidad Nacional Toribio Rodríguez
de Mendoza de Amazonas - Facultad de
Ingeniería Civil y Ambiental

Muestra N.º Ref. solicitante Fecha de recepción
**A0210/18 Mezcla Asfáltica con
Cemento Asfáltico PEN
60/70 Modificado:**
- Temperatura 200°C
- 78% PEN 60/70
- 20% Caucho
- 2% Azufre

Muestreo
Responsabilidad del Solicitante

Descripción/Procedencia
Caracterización de Cemento Asfáltico Modificado con Caucho / Proporcionado por el Tesista

ENSAYO	MÉTODO	RESULTADO (Incertidumbre si aplica)	REPORTE DE ENSAYO N.º
03.01 - Penetración de Materiales Bituminosos	ASTM D5/D5M-13	Penetración (0.1 mm) = 26	2140.18
03.02 - Punto de Ablandamiento usando Anillo y Bola (*)	ASTM D36	Temperatura A&B (0.2 °C) = 67.8°C	2141.18

Observaciones: ---

Anexos: 2 Reportes de Ensayo (2 Páginas).

Este informe no puede ser reproducido total o parcialmente sin autorización del Laboratorio MEP

Los resultados del presente informe no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Los resultados presentados se refieren únicamente a la muestra ensayada.

La fecha de ejecución de los ensayos se indica en los reportes de ensayo adjuntos que forman parte del presente informe.

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

LABORATORIO MEP
Av. Nicolás Aylón 2634 Ate - Lima 3 - Perú
Teléfono: +51 1 414 3570
E-mail: laboratoriomep@mota-engil.pe

LASMEP.679.2


MOTA-ENGI PERU S.A.
Ing. Martha Torres
GERENTE AREA TECNICA
Y SUSTENTABLE



REPORTE DE ENSAYO

Muestra N.º
A0210/18

Reporte N.º
2140.18

Página
1/1

Fecha
7/may/18

03.01 - Penetración de Materiales Bituminosos
ASTM D5/D5M-13

CONDICIONES DE ENSAYO

Temperatura de Ensayo	°C	25
Carga Total	g	100
Tiempo de Ensayo	s	5

ENSAYO

Determinación	1	2	3	Promedio
Penetración (mm)	2.55	2.58	2.56	3
Penetración (x0.1 mm)	26	26	26	26

Este reporte de ensayo sólo es válido si es parte integral de un informe de ensayo emitido por el Laboratorio MEP

Observaciones:

Temperatura de Mezcla: 200°C. Mezcla Asfáltica con 20% de Caucho.

Elaborado por

MOTA-ENGIL PERU S.A.

EDUARDO QUISPE
LABORATORISTA

Revisado por

MOTA-ENGIL PERU S.A.

David Cabellos
Jefe de Laboratorio

LABMEP 3634

REPORTE DE ENSAYO

Muestra N.º
A0210/18

Reporte N.º
2141.18

Página
1/1

Fecha
07/may/18

03.02 - Punto de Ablandamiento usando Anillo y Bola
ASTM D36

CONDICIONES DEL ENSAYO

Temperatura inicial del ensayo	°C	5.6
Tipo de Baño		Agua destilada

Determinación	1	2	Promedio
Temperatura A&B (0.2 °C)	67.7	67.9	67.8
Temperatura A&B (0.5 °C)	-	-	-

Este reporte de ensayo sólo es válido si es parte integral de un informe de ensayo emitido por el Laboratorio MEP

Observaciones:

Temperatura de Mezcla: 200°C. Mezcla Asfáltica con 20% de Caucho.

Elaborado por

MOTA-ENGIL PERU S.A.

EDUARDO QUISPE
LABORATORISTA

Revisado por

MOTA-ENGIL PERU S.A.

David Córdova
Jefe de Laboratorio

ANEXO N° 03. Análisis de costo unitario de la partida: Producción de mezcla asfáltica en caliente con asfalto convencional (asfalto PEN 60/70).

Partida : PRODUCCIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PEN 60/70						
Rendimiento: 500 M3/DÍA			Costo unitario directo por : M3		S/.	540.97
Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial	
Mano de Obra						
OPERARIO	HH	1.00	0.016	S/. 20.96	0.34	
OFICIAL	HH	1.00	0.016	S/. 17.21	0.28	
PEÓN	HH	4.00	0.064	S/. 15.47	0.99	
					1.61	
Materiales						
ARENA GRUESA (P/ ASFALTO)	M3		0.1100	S/. 44.90	4.94	
ARENA FINA(P/ ASFALTO)	M3		0.5500	S/. 50.00	27.50	
					24.79	
PIEDRA CHANCADA 1/2" - 3/4" (P/ASFALTO)	M3		0.4070	S/. 60.90		
ADITIVO MEJORADOR DE ADHERENCIA (MORILIFE 2200)	KG		1.0050	S/. 10.00	10.05	
CAL HIDRATADA (FILLER)	KG		30.8000	S/. 1.60	49.28	
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	KG		69.3000	S/. 5.90	408.87	
					525.43	
Equipos						
HERRAMIENTAS MANUALES	% MO		5%	S/. 1.61	0.08	
CARGADOR FRONTAL DE 200 HP	HM	1.00	0.0105	S/. 180.00	1.89	
GRUPO ELECTRÓGENO 230 HP 150 KW	HM	1.00	0.0160	S/. 80.00	1.28	
PLANTA DE ASFALTO MÓVIL DE 60 - 115 TON/H	HM	1.00	0.0305	S/. 350.00	10.68	
					13.93	

ANEXO N° 04. Análisis de costo unitario de la partida: Producción de mezcla asfáltica en caliente con adición de 10 % de caucho al asfalto PEN 60/70.

Partida: PRODUCCIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PEN 60/70 MODIFICADO						
Rendimiento: 500 M3/DÍA			Costo unitario directo por : M3		S/.	501.93
Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial	
Mano de Obra						
OPERARIO	HH	1.00	0.0160	S/. 20.96	0.34	
OFICIAL	HH	1.00	0.0160	S/. 17.21	0.28	
PEÓN	HH	4.00	0.0640	S/. 15.47	0.99	
					1.61	
Materiales						
ARENA GRUESA (P/ ASFALTO)	M3		0.1100	S/. 44.90	4.94	
ARENA FINA (P/ ASFALTO)	M3		0.5500	S/. 44.90	24.70	
PIEDRA CHANCADA 1/2" - 3/4" (P/ASFALTO)	M3		0.4070	S/. 60.90	24.79	
CAL HIDRATADA (FILLER)	KG		30.8000	S/. 1.60	49.28	
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	KG		60.9840	S/. 5.90	359.81	
CAUCHO 0.060 MM -0.085 MM	KG		6.9300	S/. 3.00	20.79	
AZUFRE	KG		1.3860	S/. 1.50	2.08	
					486.39	
Equipos						
HERRAMIENTAS MANUALES	% MO		5%	1.61	0.08	
CARGADOR FRONTAL DE 200 HP	HM	1.00	0.0105	180.00	1.89	
GRUPO ELECTRÓGENO 230 HP 150 KW	HM	1.00	0.0160	80.00	1.28	
PLANTA DE ASFALTO MÓVIL DE 60 - 115 TON/H	HM	1.00	0.0305	350.00	10.68	
					13.93	

ANEXO N° 05. Análisis de costo unitario de la partida: Producción de mezcla asfáltica en caliente con adición de 15 % de caucho al asfalto PEN 60/70.

Partida: PRODUCCIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PEN 60/70 MODIFICADO						
Rendimiento: 500 M3/DÍA		Costo unitario directo por : M3			S/.	475.89
Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial	
Mano de Obra						
OPERARIO	HH	1.00	0.0160	S/. 20.96	0.34	
OFICIAL	HH	1.00	0.0160	S/. 17.21	0.28	
PEÓN	HH	4.00	0.0640	S/. 15.47	0.99	
					1.61	
Materiales						
ARENA GRUESA (P/ ASFALTO)	M3		0.0000	S/. 44.90	0.00	
ARENA FINA (P/ ASFALTO)	M3		0.1100	S/. 44.90	4.94	
PIEDRA CHANCADA 1/2" - 3/4" (P/ASFALTO)	M3		0.5500	S/. 60.90	33.50	
CAL HIDRATADA (FILLER)	KG		30.8000	S/. 1.60	49.28	
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	KG		57.5190	S/. 5.90	339.36	
CAUCHO 0.060 MM -0.085 MM	KG		10.3950	S/. 3.00	31.19	
AZUFRE	KG		1.3860	S/. 1.50	2.08	
					460.35	
Equipos						
HERRAMIENTAS MANUALES	% MO		5%	1.61	0.08	
CARGADOR FRONTAL DE 200 HP	HM	1.00	0.0105	180.00	1.89	
GRUPO ELECTRÓGENO 230 HP 150 KW	HM	1.00	0.0160	80.00	1.28	
PLANTA DE ASFALTO MÓVIL DE 60 - 115 TON/H	HM	1.00	0.0305	350.00	10.68	
					13.93	

ANEXO N° 06. Análisis de costo unitario de la partida: Producción de mezcla asfáltica en caliente con adición de 20 % de caucho al asfalto PEN 60/70.

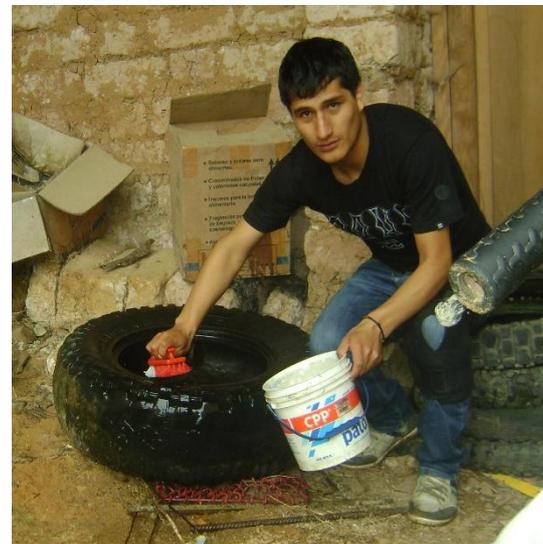
Partida: PRODUCCIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PEN 60/70 MODIFICADO						
Rendimiento: 500 M3/DÍA		Costo unitario directo por : M3			S/.	434.10
Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial	
Mano de Obra						
OPERARIO	HH	1.00	0.0160	S/. 20.96	0.34	
OFICIAL	HH	1.00	0.0160	S/. 17.21	0.28	
PEÓN	HH	4.00	0.0640	S/. 15.47	0.99	
					1.61	
Materiales						
ARENA GRUESA (P/ ASFALTO)	M3		0.0000	S/. 44.90	0.00	
ARENA FINA (P/ ASFALTO)	M3		0.0000	S/. 44.90	0.00	
PIEDRA CHANCADA 1/2" - 3/4" (P/ASFALTO)	M3		0.1100	S/. 60.90	6.70	
CAL HIDRATADA (FILLER)	KG		30.8000	S/. 1.60	49.28	
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	KG		54.0540	S/. 5.90	318.92	
CAUCHO 0.060 MM -0.085 MM	KG		13.8600	S/. 3.00	41.58	
AZUFRE	KG		1.3860	S/. 1.50	2.08	
					418.56	
Equipos						
HERRAMIENTAS MANUALES	% MO		5%	1.61	0.08	
CARGADOR FRONTAL DE 200 HP	HM	1.00	0.0105	180.00	1.89	
GRUPO ELECTRÓGENO 230 HP 150 KW	HM	1.00	0.0160	80.00	1.28	
PLANTA DE ASFALTO MÓVIL DE 60 - 115 TON/H	HM	1.00	0.0305	350.00	10.68	
					13.93	

ANEXO N° 07: Panel Fotográfico

a) Recolección de neumáticos en la ciudad de Chachapoyas - Amazonas



b) Limpieza de los neumáticos



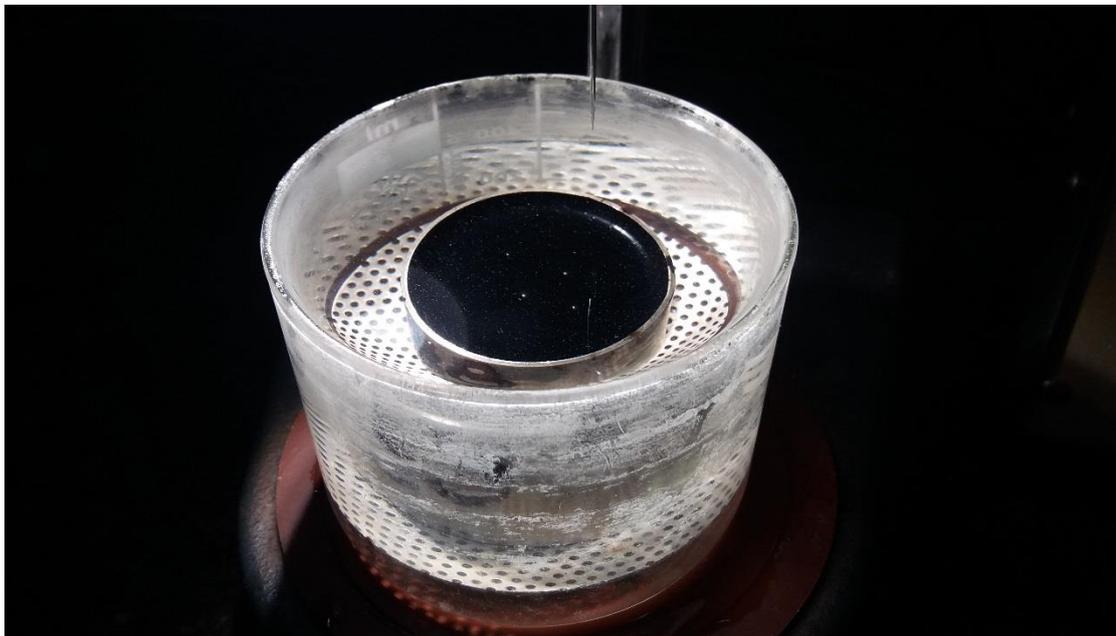
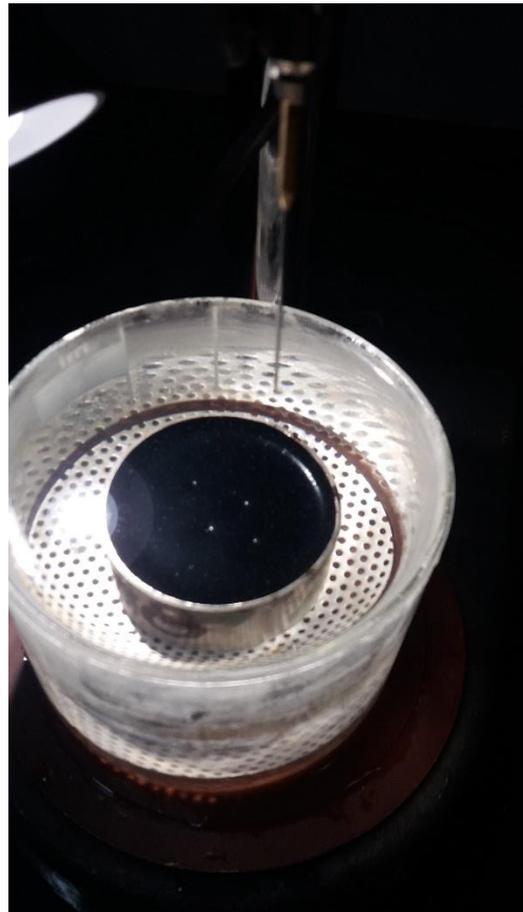
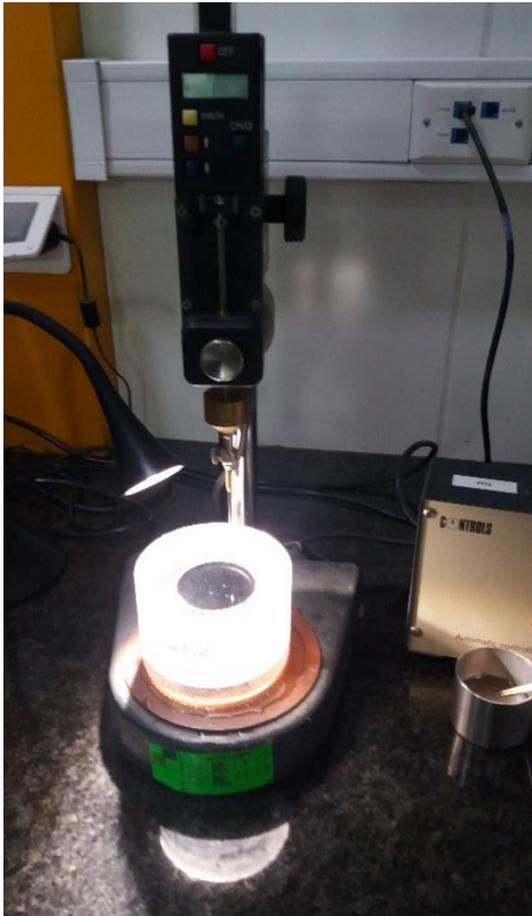
c) Tamizado del caucho



d) Preparación de los especímenes de prueba o muestras experimentales



e) Ensayo de penetración



f) Ensayo de punto de ablandamiento

